

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



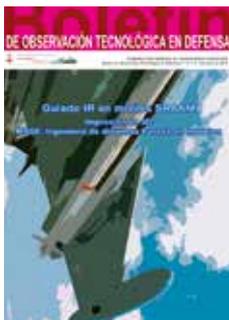
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 41 • 4.º trimestre de 2013

Guiado IR en misiles SRAAM

Impresión en 3D

MBSE: Ingeniería de sistemas basada en modelos





Edita:



NIPO en línea: 083-13-115-3

NIPO impresión bajo demanda: 083-13-114-8

Autor: Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDG TECIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). C/ Arturo Soria, 289, 28033 Madrid; teléfonos: 91 395 46 31 (dirección), 91 395 46 87 (redacción); observatecno@oc.mde.es.

Director: CF Ing. José María Riola Rodríguez.

Redacción: Héctor Criado de Pastors.

Consejo Editorial: Oscar Jiménez Mateo, Tomás A. Martínez Piquer, José Agrelo Llaverol. **Equipo de Redacción:** Nodo gestor: Guillermo González Muñoz de Morales, David García Dolla; Observatorio de armas, municiones, balística y protección (OT AMBP): Jorge Lega de Benito; Observatorio de electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas, Fernando Iñigo Villacorta; Observatorio de energía y propulsión (OT ENEP): Héctor Criado de Pastors; Observatorio de defensa NBQ (OT NBQ): Angélica Acuña Benito; Observatorio de materiales (OT MAT): Luis Requejo Morcillo; Observatorio de óptica, optróptica y nanotecnología (OT OPTR): Ing. D. Fernando Márquez de Prado Urquía, Pedro Carda Barrio; Observatorio de UAV, robótica y sistemas aéreos (OT UAV): Ing. D. José Ramón Sala Trigueros; Observatorio de sistemas navales (OT SNAV): CF Ing. José María Riola Rodríguez, Juan Jesús Díaz Hernández; Observatorio de sistemas terrestres (OT STER): Cor. CIP Manuel Engo Nogués; Observatorio de tecnologías de la información, comunicaciones y simulación (OT TICS): Ing. D. Francisco Javier López Gómez, Fernando Cases Vega, Nuria Barrio Santamaría.

Portada: Imagen sección de guiado del Iris-T, artículo "Guiado IR en misiles SRAAM".

El Boletín de Observación Tecnológica en Defensa es una publicación trimestral en formato electrónico del sistema de observación y prospectiva tecnológica orientado a divulgar y dar a conocer iniciativas, proyectos y tecnologías de interés en el ámbito de defensa. El Boletín está abierto a cuantos deseen dar a conocer su trabajo técnico. Los artículos publicados representan el criterio personal de los autores, sin que el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa comparta necesariamente las tesis y conceptos expuestos.

Colaboraciones y suscripciones:

observatecno@oc.mde.es

<http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/sistemas/>

 **SOPT**



DGAM
Subdirección General de Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

- 3** El horizonte 2020 y la I+D+i de defensa

Actualidad

- 4** ¿Dónde hemos estado?
- 5** Proyecto Pulanfi: Manipulador de cargas a grandes profundidades
- 7** Seminarios SET-191 y MSG-115 de la STO
- 10** IST-106-RTG-051. Information Filtering and Multisource Information Fusion

Tecnologías Emergentes

- 13** MBSE - Ingeniería de sistemas basada en modelos
- 17** Impresión en 3D

En Profundidad

- 21** Guiado IR en misiles SRAAM

El horizonte 2020 y la I+D+i de defensa

La Unión Europea concentra gran parte de sus actividades de investigación e innovación en un programa marco que en su última edición, lanzada a finales de 2013, se denomina Horizonte 2020 (H2020), y que para el periodo 2014-2020 cuenta con un presupuesto disponible de 76.880 millones de euros. La mayoría de las actividades se ejecutan mediante convocatorias anuales competitivas gestionadas por la Comisión Europea, con unas prioridades preestablecidas en los programas de trabajo que son públicos. Son destacables asimismo los esfuerzos para fomentar la participación de las pymes, para las cuales se establecen mecanismos específicos y objetivos de mínimos de financiación.

Los objetivos estratégicos del H2020, denominados Partes en el programa, son crear una ciencia de excelencia, desarrollar tecnologías y sus aplicaciones industriales para mejorar la competitividad europea e investigar en las grandes cuestiones sociales que afectan a los ciudadanos europeos. Si bien en todos ellos tienen cabida actividades de uso dual de interés para defensa, es en la tercera Parte, concretamente en el Objetivo Específico “Sociedades seguras”, que aborda la seguridad en un contexto en constante evolución, creciente interdependencia y amenazas globales, donde se concentran los intereses del Mº de Defensa. El objetivo específico de “Sociedades seguras” trata cuestiones como la lucha contra el terrorismo, la gestión de fronteras y la seguridad marítima, la seguridad ci-

bernética, la resiliencia de Europa frente a las crisis y los desastres, la estandarización y la interoperabilidad de los sistemas y el apoyo a las políticas de seguridad exterior de la Unión, incluyendo la prevención de los conflictos y construcción de la paz entre otros.

Como puede deducirse, todas estas cuestiones están íntimamente ligadas a la defensa nacional, defensa nacional, con lo que la posibilidad abierta por H2020 para el desarrollo tecnológico en áreas que pueden tener un claro carácter dual brinda un interesante abanico de oportunidades para incorporar soluciones tecnológicas de gran utilidad para los sistemas de nuestras FAS. Por una parte, las temáticas, objetivos y condiciones de participación hacen de este programa un instrumento muy atractivo para que los proveedores de tecnología de defensa (empresas, centros tecnológicos y universidades) puedan llevar a cabo sus iniciativas y consolidar sus capacidades, ya que plantea importantes inversiones en tecnologías clave. Por otra, el H2020 representa una vía de participación para las FAS que les permite involucrarse en los proyectos desde su inicio, favoreciendo su desarrollo y adaptándolo a sus necesidades. A este respecto, es preciso tener en cuenta que en el Horizonte 2020 pueden participar todo tipo de entidades jurídicas establecidas en cualquier nación de la UE, como universidades, empresas, centros de investigación y administraciones públicas, incluidos, obviamente, los ministerios de defensa y no solo en el papel de usuarios finales.

Actualidad

¿Dónde hemos estado?

23-25
octubre

- **52.º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima**

La SDGTECIN participó con las presentaciones “Modelización de la maniobrabilidad de un vehículo submarino no tripulado” y “Análisis del comportamiento en la mar de buques de guerra multicasco”.



30 octubre

- **Visita al Centro Tecnológico Industrial de Extremadura CETIEX**

CETIEX tiene interesantes capacidades aplicables a Defensa en ámbitos como mini-UAV, redes WIFI/WiMAX y energías renovables en sus centros de Los Santos de Maimona y Badajoz.



5-6
noviembre

- **Discover, Innovate, Be Global: Opportunities under the new EU financial framework**

Jornada de colaboración universidad-empresa en el ámbito de la innovación dentro del próximo marco financiero 2014-2020 en la Unión Europea, que será fundamental también en el sector de defensa y seguridad.



6-7
noviembre

- **Congreso de I+D en Defensa y Seguridad DESEI+D**

El DESEI+D reunió en un mismo foro numerosas aportaciones de I+D en distintos ámbitos del sector de defensa y seguridad. Para más información, véase el Boletín n.º 40.



18
noviembre

- **Visita al Instituto Tecnológico de Aragón**

El ITA posee interesantes capacidades en automoción, serious games, análisis semántico y del sentimiento y ensayos de materiales y electromagnéticos.



... entre otros eventos

Proyecto Pulanfi: Manipulador de cargas a grandes profundidades

Asier Susaeta, director gerente,
Credeblug S. L.

Palabras clave: ROV, equipo anfíbio.

Metas tecnológicas relacionadas:
MT.3.5.6

El proyecto Pulanfi nace de las necesidades del mercado *offshore* que con cada vez más frecuencia hacen necesaria la manipulación de grandes cargas en el fondo marino. La tecnología disponible se centra en la prospección del fondo y la manipulación de pequeñas cargas por medio de vehículos submarinos autónomos (en adelante ROV - *Remote Operated Vehicle*) pero que no cuenta con equipos especializados en movimientos a media y gran escala. Es por ello que Credeblug inició en 2009 el desarrollo de la tecnología para el funcionamiento de equipos de manipulación en el entorno marino.

El proyecto Pulanfi ha contado con la colaboración de Tecnalia y la Universidad de Mondragón para abarcar el conjunto de módulos de desarrollo donde la parte hidráulica y la de control son las que mayores recursos e investigación han supuesto. Estas

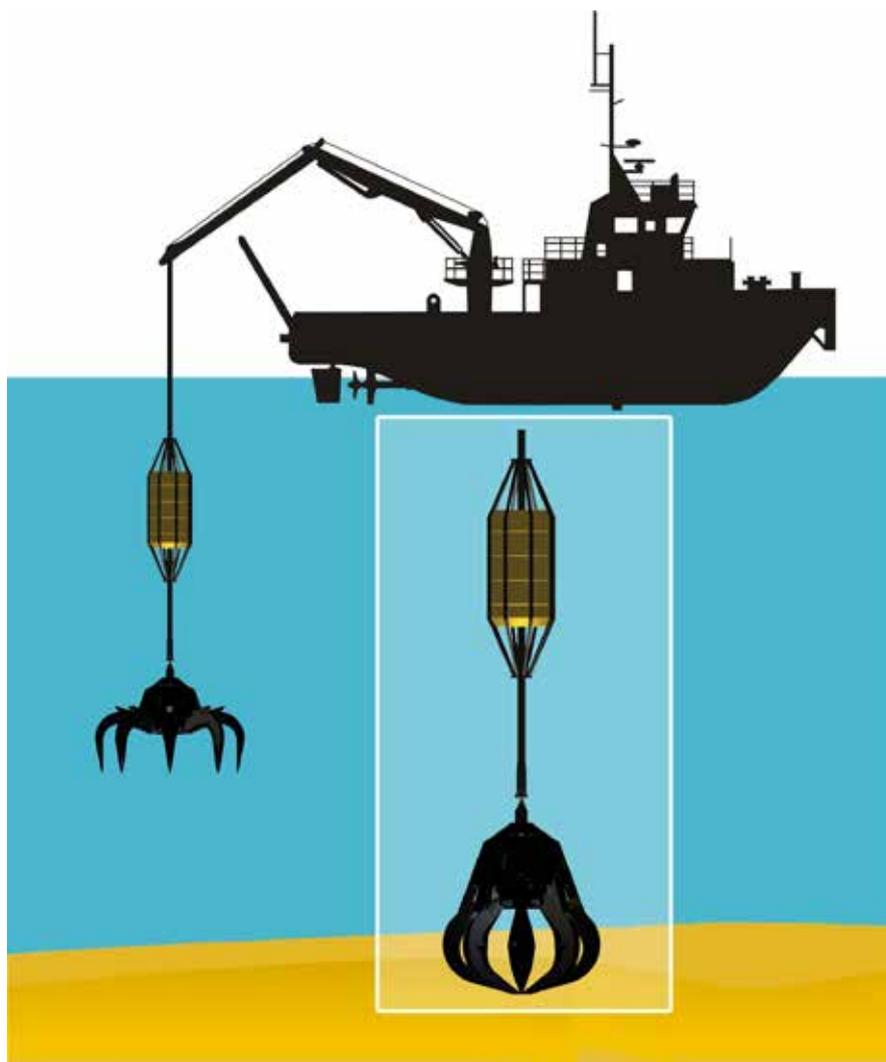


Fig. 1. Montaje en barco. (Fuente: Credeblug S. L.).

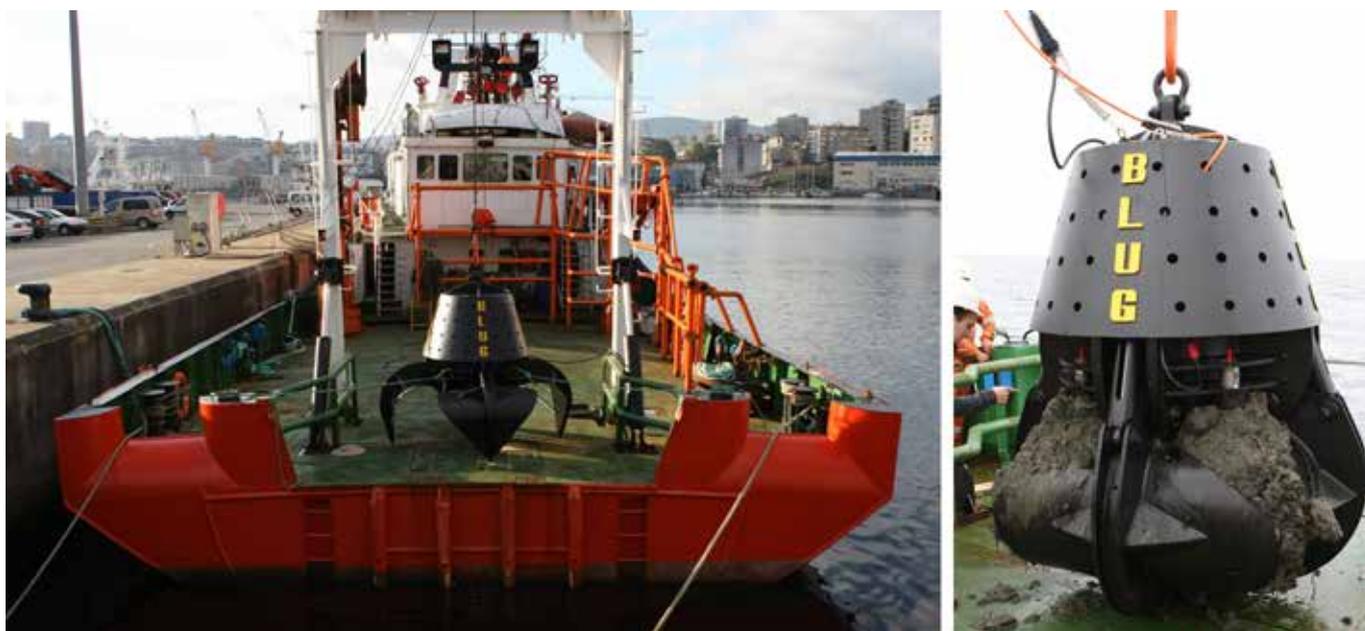


Fig. 2. Pruebas de prototipo. (Fuente: Credeblug S. L.).

son las principales innovaciones que se han conseguido a la finalización de la fase de desarrollo:

- Tecnología hidráulica: para un control del manipulador desde cubierta se ha optado por la tecnología electrohidráulica capaz de autogestionar y dotar al conjunto de la potencia necesaria para desarrollar los movimientos del manipulador mediante alimentación eléctrica desde el exterior (cableado) o bien mediante el uso de baterías. El sis-

- Control y visión: ya que normalmente el manipulador se controla desde el puesto de control del buque/plataforma y está unido físicamente a la estructura de elevación, es necesario disponer de sistemas de visión e iluminación que transmitan al exterior los datos de funcionamiento, seguridad y posición del manipulador respecto al entorno de carga así como durante los movimientos de bajada e izaje (imagen 1). El manipulador es compatible con el uso de ROV para contar con un mayor

la profundidad de trabajo, la tecnología desarrollada cubre actualmente profundidades de trabajo de hasta 1.000 metros aunque esta profundidad de uso es ampliable en función de las necesidades de cada proyecto.

El desarrollo del proyecto finalizó en junio de 2013 con las pruebas de validación en entorno real a bordo del buque *Investigador I* en la costa de Vigo (imagen 2). El prototipo accionado por medio de un sistema electrohidráulico y una capacidad de carga de tres toneladas contaba con los principales sistemas desarrollados y completó con éxito las pruebas de carga, visión y control de sistemas.

Las posibles aplicaciones de la tecnología Pulanfi no solo se centran en la carga de grandes volúmenes sino que pueden enfocarse de igual forma a la recuperación de objetos de gran valor tecnológico que se encuentren depositados en el fondo marino, como por ejemplo ROV u otro tipo de propiedad de tipo militar (imagen 3). Durante las distintas fases del proyecto se ha priorizado la concepción modular de los manipuladores de tal forma que puedan ser fácilmente intercambiables en una misma estructura de superficie y adecuarse a un mismo protocolo de comunicación y control. A esto hay que sumarle la posibilidad de adecuar la estructura de un mismo manipulador adaptando su forma y capacidad de carga cuando el rango de peso y la forma del material

así lo permitan.

Las siguientes líneas de desarrollo se centrarán en la posibilidad de incorporar al manipulador de capacidad de propulsión propia para un mejor posicionamiento durante la carga así como la búsqueda de sistemas de almacenamiento de energía que mejoren la capacidad de funcionamiento autónomo actual mediante celdas de ion-litio que provean de una autonomía del orden de 1.000 ciclos de carga. Más información en www.blug.es



Fig. 3. Pulanfi con ROV. (Fuente: Credeblug S. L.).

tema de caudal variable minimiza el consumo eléctrico a la vez que dota al conjunto de una mayor duración y fiabilidad en el tiempo. El cuerpo se encuentra completamente aislado del exterior por lo que compensa internamente los volúmenes durante su funcionamiento y evita que los elementos sensibles del sistema se encuentren expuestos a grandes presiones de funcionamiento asociadas a la profundidad de uso.

campo de visión durante los movimientos y carga de material.

- Capacidad de carga y rango trabajo: el rango de materiales y cargas aplicables en la tecnología Pulanfi es muy amplio. El diseño en cuanto a volumen, densidad, forma y peso del material puede ser adaptado en función de los requerimientos de cada proyecto para dotar al manipulador de la forma y valores de potencia necesarios. En cuanto a

Seminarios SET-191 y MSG-115 de la STO

Fernando Íñigo Villacorta, OT ELEC

Palabras clave: radar SAR, fusión de datos, radar pasivo, simulación, juegos de guerra, adiestramiento, STO.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 2.1.2, MT 2.1.3, MT 2.2.1.; LF 6.5.

Entre las actividades de mayor interés que se organizan anualmente en el marco de la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN (STO - *Science & Technology Organization*) se encuentran las denominadas *STO Lecture Series*. Se trata de unos seminarios de carácter formativo que se celebran con un mismo programa en distintos países de la Alianza, cuyo objetivo es difundir el estado del arte en determinados temas científicos y tecnológicos de gran relevancia para la OTAN y sus Estados miembros. Impartidos por algunos de los principales expertos internacionales en las respectivas materias, están dirigidos a especialistas del ámbito operativo, académico e industrial y constituyen una excelente oportunidad formativa para los expertos de las naciones que acogen estos eventos.

Durante el año 2013 España ha acogido dos de estos seminarios: el SET-191, sobre sistemas radar y SAR para la vigilancia y el reconocimiento desde el aire y desde el espacio, y el MSG-115, sobre la utilización de juegos para el aprendizaje y adiestramiento de las Fuerzas Armadas. Estos seminarios han sido organizados por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa, en colaboración con distintos organismos e instituciones.

Seminarios SET-191 "Radar and SAR systems for airborne and space-based Surveillance and Reconnaissance"

Los seminarios SET-191 se impartieron en cuatro localidades: Roma, Londres, Salamanca y Wachtberg (Alemania). La sesión española de los seminarios fue organizada por el grupo de investigación BISITE, de la Universidad de Salamanca, los días 21 y 22 de octubre, en colaboración

con la Subdirección General de Tecnología e innovación de la DGAM.

El propósito de estos seminarios fue presentar el estado del arte de los sistemas SAR/MTI (*Synthetic Aperture Radar/ Moving Target Indicator*)

la Universidad de Roma "La Sapienza", del Instituto IREA-CNR de Nápoles, de la Universidad de Ankara y del Instituto Fraunhofer para las Comunicaciones, el Procesado de Información y la Ergonomía (Fraunhofer-FKIE).



Fig. 1. Ponentes en seminarios SET-191. (Fuente: BISITE).

para aplicaciones de vigilancia y reconocimiento desde el aire y desde el espacio, así como las técnicas actuales más sofisticadas de fusión de datos y seguimiento de objetivos. Estos sistemas son hoy en día esenciales para llevar a cabo diferentes operaciones militares y de mantenimiento de la paz de la OTAN. La capacidad de los sistemas de radar SAR para operar tanto de día como de noche, su relativa inmunidad frente a las condiciones climáticas (especialmente la presencia de nubes sobre el área objeto de observación), su capacidad para operar a larga distancia, así como para detectar y realizar el seguimiento de blancos móviles y para generar mapas en 3D de alta resolución por medio de técnicas interferométricas, los convierten en sensores clave para multitud de aplicaciones.

El grupo de expertos que impartió los seminarios estuvo liderado por el Dr. Matthias Weiss, perteneciente al Instituto Fraunhofer de Física de Alta Frecuencia y Técnicas Radar (Fraunhofer-FHR), con sede en Wachtberg (Alemania). Este grupo de ponentes incluía asimismo investigadores de

Entre los temas tratados en las conferencias se incluyeron los radares SAR de alta resolución, los sistemas SAR multicanal, los SAR tomográficos y las técnicas de interferometría SAR, así como conceptos emergentes como la aplicación de técnicas de *compressive sensing* a las señales SAR. Uno de los temas a los que se dedicó especial atención fue el seguimiento y fusión de datos en redes de sensores distribuidas, de gran interés para los sistemas radar multiestáticos y los nuevos sistemas de radares pasivos. Los sistemas multiestáticos pueden mejorar enormemente la capacidad del sistema para la caracterización del blanco mediante la explotación de la información obtenida desde distintas direcciones de observación. Los sistemas de radar pasivo son configuraciones multiestáticas que utilizan señales ya presentes en el ambiente (radio FM, televisión, telefonía móvil) para iluminar los blancos, lo que hace posible la operación de estos radares sin ser detectados.

El seminario contó con cerca de 80 asistentes pertenecientes al Ministerio de Defensa, a la industria y al ámbito académico y de investigación.

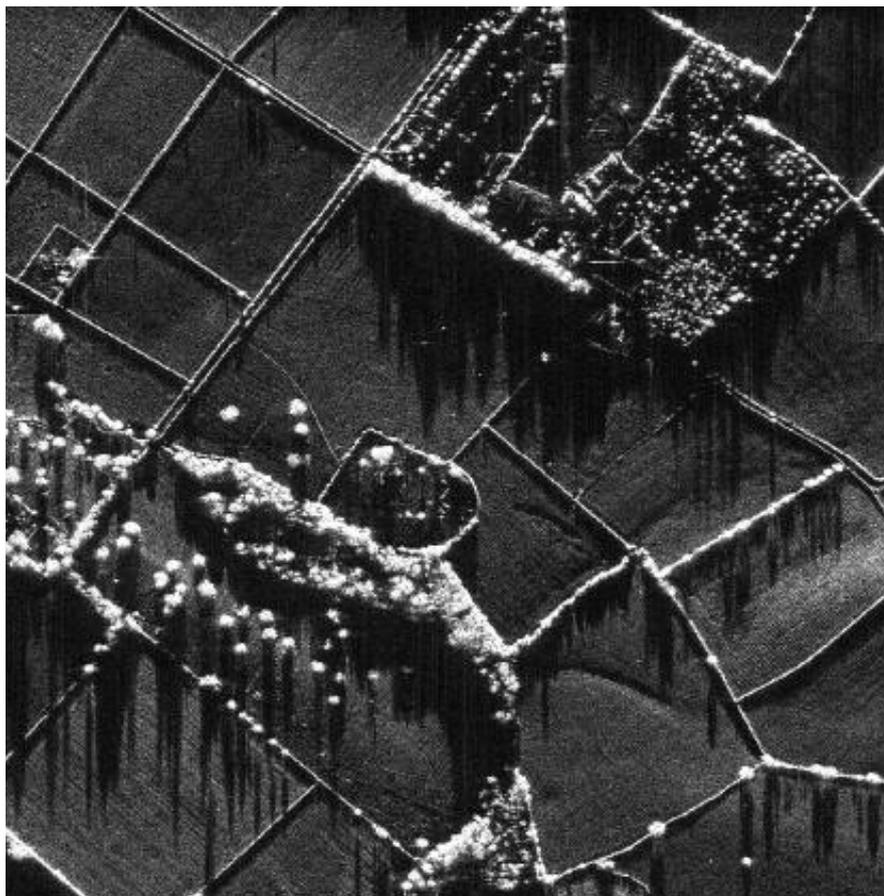


Fig. 2. Ejemplo de imagen obtenida con técnicas de tomografía SAR (Hotel Bellagio, Las Vegas). Cortesía de Xiaoxiang Zhu, DLR, Remote Sensing Technology Institute, Germany

Seminarios MSG-115 “Serious Games and their use in NATO”

Estos seminarios se celebraron en Madrid y Ankara. La edición española del evento se celebró los días 11 y 12 de noviembre de 2013 en el Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN) y fue organizada por la Subdirección de Tecnología e Innovación de la DGAM, en colaboración con la Fundación Círculo de Tecnologías para

la Defensa y la Seguridad y el citado CESEDEN.

Estos seminarios tuvieron como finalidad explicar los beneficios que puede aportar a las organizaciones de Defensa la utilización de juegos de ordenador para el aprendizaje y el adiestramiento. El término anglosajón *serious games* hace referencia en general a todos aquellos juegos (sean o no de ordenador) que persiguen propósitos distintos

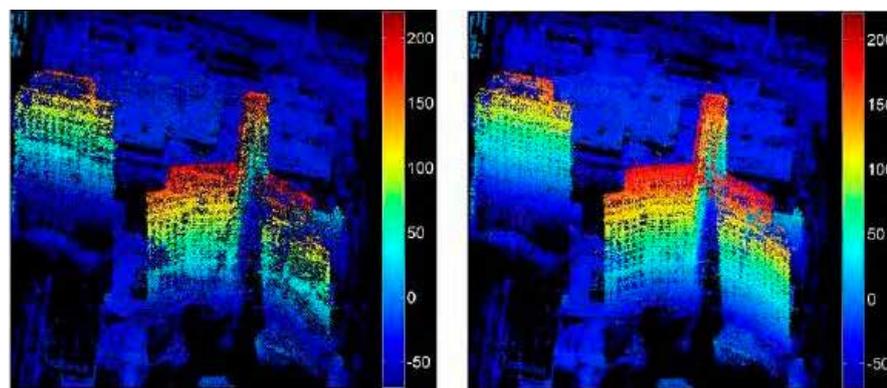


Fig. 3. Ejemplo de imagen de radar SAR. Fuente: C.J. Oliver, S. Quegan, “Understanding Synthetic Aperture Radar Images”, Artech House, 1998

al estrictamente lúdico, como por ejemplo la mejora del proceso de aprendizaje en el ámbito educativo, el entrenamiento para la adquisición y ejercicio de determinadas habilidades o técnicas o la resolución de problemas específicos en determinadas disciplinas científicas.

En opinión de diferentes expertos, la incorporación de los juegos de ordenador a los procesos convencionales de adiestramiento de la Fuerza puede mejorar de manera notable la efectividad y eficiencia con las que se realiza dicho adiestramiento. Estos juegos presentan los objetivos de aprendizaje en un entorno virtual atractivo, consiguen involucrar activamente al alumno y mantienen su motivación para continuar jugando a alto nivel durante el proceso de instrucción.

El equipo de ponentes del seminario estuvo dirigido por Stuart Armstrong, jefe de tecnología del Grupo de Simulación y Entrenamiento de la empresa QinetiQ, e incluía al director ejecutivo de la empresa *Bohemia Interactive Simulations*, al responsable de tecnologías emergentes del *Advanced Distributed Learning (ADL) Co-Lab* del Departamento de Defensa de Estados Unidos, a un profesor de Simulación para Defensa de la *Defence Academy* de Reino Unido y a un director de proyectos de simulación en la agencia gubernamental de defensa DRDC de Canadá, que son algunos de los expertos más relevantes a nivel internacional en el ámbito de *serious games* y su aplicación en temas de Defensa.

Durante los dos días de ponencias se abordaron temas de enorme interés, entre los que destacaron las mejoras que algunos países han observado en el proceso de entrenamiento de sus unidades mediante la utilización de *serious games*, el estado del arte de los simuladores virtuales (modelado del campo de batalla, modelos de las armas y plataformas, comportamiento dinámico de todos los objetos y actores, etc.), los retos técnicos que todavía quedan por afrontar en este ámbito (mejora del realismo gráfico, física creíble, interoperabilidad, etc.), la importancia esencial de los factores no tecnológicos (psicología del jugador, motivación, etc.) para el éxito en el aprendizaje y la posibilidad de utilizar los productos comerciales de juegos (tanto *software* como *hardware*) para la resolución de diversos



Fig. 4. Imagen de la plataforma VBS2 (Virtual Battlespace 2), uno de los entornos de simulación comerciales empleados para el entrenamiento táctico. (Fuente: Bohemia Interactive).

problemas de simulación de defensa, así como las limitaciones actuales de dichos productos comerciales.

El seminario alcanzó un gran éxito de participación, pues tuvo más de 70 asistentes pertenecientes al Ministerio

de Defensa, a la industria y al ámbito académico y de investigación. Este seminario no solo ha permitido a los asistentes obtener una visión de conjunto sobre el estado del arte de los *serious games* y la medida en que

están siendo utilizados por las Fuerzas Armadas de los distintos países, sino que también ha ofrecido la oportunidad de conversar, debatir e intercambiar opiniones con el grupo de expertos responsables de las ponencias.

II Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+D 2014)

Los días 6 y 7 de noviembre de 2014 se celebrará la segunda edición del Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+D 2014), organizado por el Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza en colaboración con la Subdirección General de Tecnología e Innovación de la DGAM, la Cátedra Isdefe de la Universidad Politécnica de Madrid y el resto de Centros Universitarios de la Defensa.

Esta nueva edición del Congreso aspira a consolidar el éxito obtenido en la primera edición, en la que se recibieron más de 80 contribuciones procedentes de actores muy relevantes dentro de la I+D+i de Defensa: industria, centros de investigación y universidades, incluyendo los Institutos y Centros de investigación de Defensa y los Centros Universitarios de la Defensa.

Recientemente, el Comité Organizador del DESEi+D 2014 ha abierto el plazo para el envío de propuestas de artículos que se quieran presentar en las sesiones del Congreso, cuyos resúmenes deberán remitirse a la dirección cdeseid@unizar.es antes del 1 de mayo de 2014.

Es posible encontrar información adicional del congreso en este enlace del portal web del CUD de Zaragoza: <http://cud.unizar.es/congreso>

IST-106-RTG-051. Information Filtering and Multisource Information Fusion

Jesús García Herrero, Departamento de Informática, Universidad Carlos III de Madrid

Palabras clave: fusión de datos, fusión de información.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 2.2.1.; MT 6.1.3.

La fusión de datos e información se ha convertido en la herramienta clave para integrar datos de múltiples fuentes en la toma de decisiones, especialmente en situaciones complejas y con un flujo de información que produciría sobrecarga al operador. Los sistemas modernos de fusión de datos están orientados a la explotación de todos los tipos de información con el fin de proporcionar en tiempo real estimaciones de alto valor añadido sobre las fuentes disponibles.

Con este planteamiento arrancó el grupo de trabajo RTG-IST-106 de la STO (*Science & Technology Organization*) de la OTAN, en marzo de 2011, a iniciativa del Dr. Wolfgang Koch, del instituto de investigación FKIE-Fraunhofer en Alemania. Los miembros del grupo tienen amplia experiencia en el área de fusión de datos desde diferentes perspectivas (academia, investigación e industria) y la creación del grupo ha servido como punto de encuentro e intercambio de aproximaciones a problemas relevantes en el área de fusión de datos en aplicaciones de defensa y seguridad.

El foco de interés ha sido el planteamiento de técnicas multinivel de fusión de datos e información, para explorar las ventajas potenciales de integrar técnicas y herramientas que tradicionalmente se han utilizado en diferentes comunidades de investigación. La referencia para clasificar los procesos de fusión es el modelo JDL (*Joint Directors of Laboratories*), desarrollado por el Departamento de Defensa de EE. UU. en la década de 1990.

Básicamente, pueden distinguirse dos grandes áreas de desarrollo en fusión de datos: los sistemas de

fusión de bajo nivel (niveles 0,1) y los sistemas de alto nivel (niveles 2,3), que se complementan con las técnicas de adaptación (nivel 4) e interacción con el operador y toma de decisiones (nivel 5) (ver figura 2).

Aunque existen técnicas maduras para procesar los datos de cada nivel (algoritmos de estimación del estado, análisis de texto, modelado de relaciones y sistemas lógicos, etc.), hay una clara falta de interacción entre las comunidades de investigación. Uno de los objetivos clave del grupo ha sido analizar la existencia del *gap*

entre las técnicas estudiadas en estos niveles y posibilidades de cubrirlo para llegar a explotar la complementariedad de las técnicas e información en cada nivel. En particular, un elemento clave fue explorar el potencial del lenguaje BML (*Battle Management Language*) como medio de representación e interconexión entre procesos. Con este lenguaje se pueden representar aspectos del dominio de aplicación, resultados de fusión de sensores a bajo nivel, entrada de fuentes de información adicionales (HUMINT/OSINT), etc.

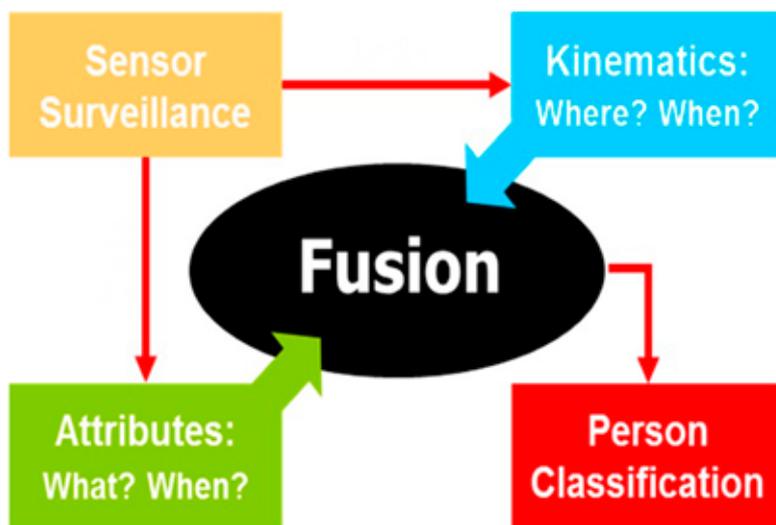


Fig. 1. Fusión de datos e información como soporte al análisis de situación y toma de decisiones. (Fuente: "Overview of Fraunhofer FKIE. EU Project HAMLeT: Hazardous Material Localization and Person Tracking". W. Koch, Alemania, marzo 2011).

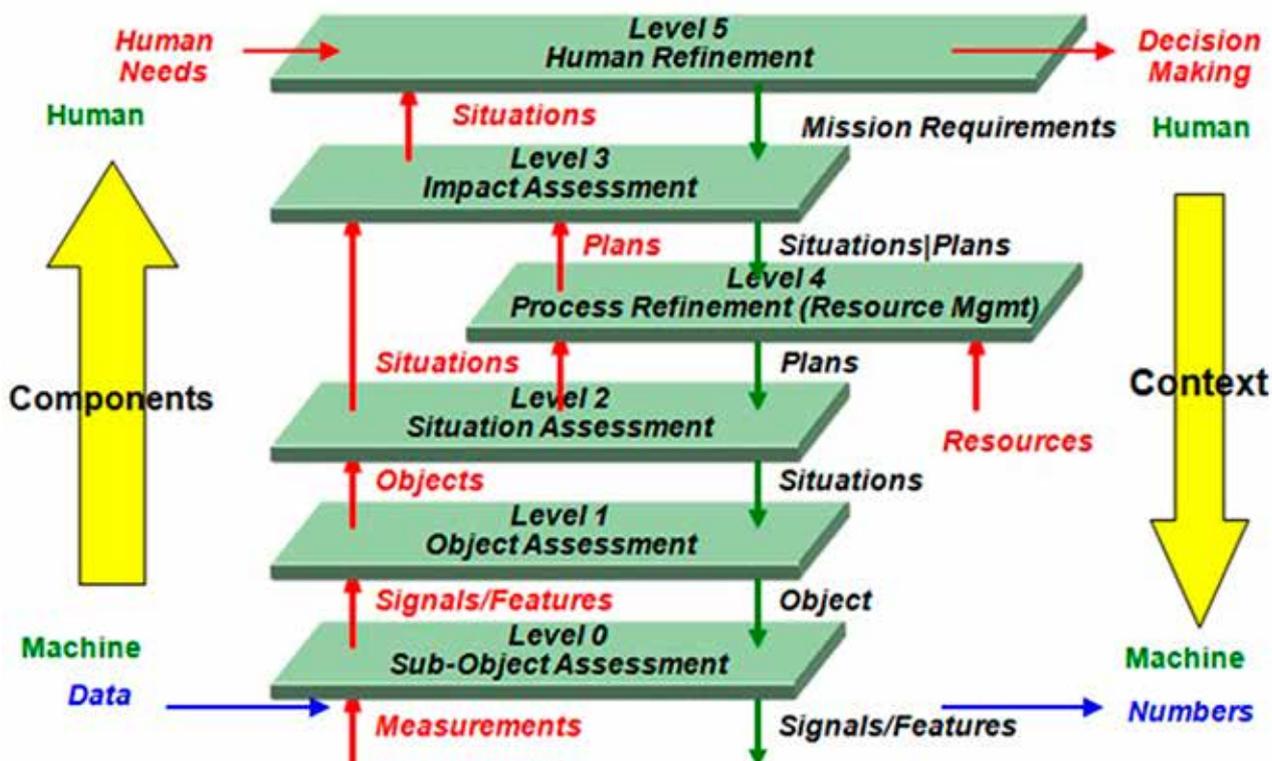


Fig. 2. Modelo JDL de sistemas de fusión de datos. (Fuente: Liggins, M., Hall, D., & Llinas, J. (2009). Handbook of Multisensor Data Fusion (2nd Edition). Boca Ratón, Florida, EE. UU.: CRC Press.).



Fig. 3. BML como medio de representación y comunicación entre sistemas C2 para envío de observaciones y comandos. (Fuente: "BML Use Cases". U. Schade, M. Frey, K. Rein, S. Kawaletz, T Remmersmann. Presentación de Fraunhofer FKIE, Alemania, 2011).



Fig. 4. Escenario de experimentación de técnicas de fusión del grupo IST-106. (Fuente: elaborada por el grupo a partir de imágenes de Fraunhofer FKIE y configuración del experimento).

Como beneficios inmediatos están la representación estructurada de los productos de la fusión de datos, utilizables por otros procesos, la transformación de datos de texto (*soft data*) para integrarse con datos de sensores (*hard data*) en procesos unificados de fusión, así como estudiar modelos avanzados de calidad de la información y modelos de amenaza que consideren toda la información disponible.

Finalmente, para analizar detalles asociados al planteamiento de estas técnicas, el grupo desarrolla un experimento real en el que se grabarán datos de

sensores y fuentes de información en un escenario de interés. Se trataría de un escenario de intrusión en una infraestructura crítica a través de una barrera, en el propio instituto FKIE en Fraunhofer, utilizando la disponibilidad de sensores que permitirán recibir datos acerca de los eventos de interés (intrusión en el recinto con fines de clara amenaza), pero incluyendo eventos de falsas alarmas y detecciones erróneas intencionadas (ver figura 4).

Se plantea la fusión de datos de sensores acústicos (con capacidad de localización y clasificación de eventos como

disparos, pasos, voces, etc.), datos de vídeo (cámaras fijas y embarcadas) e información textual (informes acerca de posibilidad de amenazas y observaciones de vigilantes humanos). La información de contexto también se integrará en el proceso de fusión (configuración de elementos de la escena como barreras, entradas, calles, edificios, áreas de arbustos, etc.), permitiendo clasificar de manera más efectiva los eventos proporcionados por las diferentes fuentes disponibles. El grupo IST-106 ha existido de 2011 a 2013, y ha sido prorrogado con una extensión de un año en 2014. Más información en www.uc3m.es.

Tecnologías Emergentes

MBSE - Ingeniería de sistemas basada en modelos

Maria Luz Gil Heras, Indra,
Sara Galán Pulido, Isdefe

Palabras clave: MBSE, Ingeniería de sistemas, modelos, AMBASSADOR, SMRF, multifunción, escalable, RF, simulación, SIMPLE.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 0.3.

Introducción a MBSE

La ingeniería de sistemas, entendida como el conjunto de metodologías para la resolución de problemas mediante el análisis, diseño y gestión de sistemas (Hall, Wymore y M'Pherson), comenzó a desarrollarse en la segunda parte del siglo XX. Desde entonces, el concepto de ingeniería de sistemas ha evolucionado ampliamente, y hoy en día se considera como un elemento básico, fundamental e indispensable en el desarrollo de cualquier sistema complejo.

Si bien no existe una única definición comúnmente aceptada de ingeniería de sistemas, una definición general es "la aplicación efectiva de métodos científicos y de ingeniería para transformar una necesidad operativa en una configuración determinada del sistema mediante un proceso de arriba-abajo iterativo (*top-down*) establecimiento de requisitos, selección del concepto, análisis y asignación funcional, síntesis, optimización del diseño, prueba y evaluación. Está orientada al proceso y utiliza procedimientos de realimentación y control"¹.

Tradicionalmente, la ingeniería de sistemas se ha basado en el uso de documentación para afrontar las distintas tareas y actividades implicadas. Solo en algunos momentos puntuales se utiliza la simulación, principalmente para el análisis y/o validación. Esta metodología presenta una serie de desventajas, que aumentan a la hora de trabajar con

sistemas complejos en entornos multinacionales. Los problemas de comunicación debidos a distintas interpretaciones, inexactitudes del lenguaje, indefiniciones, análisis in-

En este tipo de ingeniería de sistemas, los modelos ocupan un papel central en las distintas partes del proceso de ingeniería (especificación, diseño, integración, validación y operación de

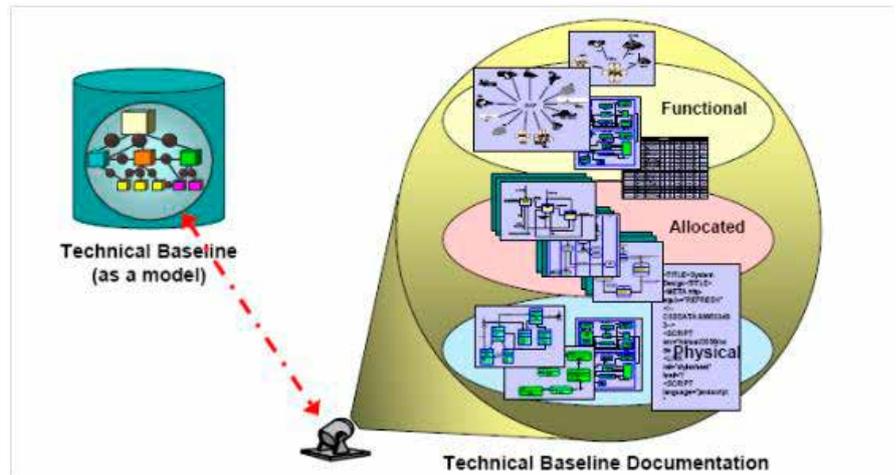


Fig. 1. Gestión de datos a través de modelos en MBSE vs. Gestión de datos a través del uso de documentación en la Ingeniería de Sistemas Tradicional. (Fuente: Presentación MBSE INCOSE).

completos o erróneos, etc., suelen acarrear muchas dificultades, e implican en muchos casos la necesidad de rehacer trabajo, debido a la identificación tardía de errores.

Por otro lado, con el desarrollo de la tecnología, principalmente de las capacidades informáticas y de almacenamiento de la información, surge una amplia gama de aplicaciones y tecnologías que permiten el uso de nuevas herramientas de trabajo y conocimiento para el modelado y simulación de los distintos aspectos del proceso de ingeniería de sistemas.

Así, haciendo uso de dichas aplicaciones y tecnologías, aparece la ingeniería de sistemas basada en modelos (MBSE: *Model Based System Engineering*), considerada como la aplicación formal del modelado para apoyar la definición de requisitos, diseño, análisis, verificación y validación del sistema en la fase de desarrollo conceptual y su continuación a lo largo del desarrollo, y posteriores fases del ciclo de vida de un sistema (figura 1).

los sistemas). Es decir, esta metodología pretende sustituir el tradicional uso de documentación "en papel", por modelos realizados a distintos niveles y haciendo uso de diferentes herramientas de modelado (figura 2).

Así, MBSE permite mejorar la capacidad de definición, captura, representación, análisis, gestión y compartición de la información asociada a todo el ciclo de vida de desarrollo de un producto, optimizando la productividad y calidad final del producto. Dado que actualmente la mayor parte de los fallos en un sistema son debidos a la interacción entre componentes en lugar de al fallo individual de cada componente, el modelado de un sistema permite identificar dichos problemas de manera temprana. Además, este modelado no solo permitirá una optimización temprana del diseño y por lo tanto una disminución de costes y tiempos de desarrollo, sino que se espera que permita obtener también una extensión del ciclo de vida a través del uso posterior en el mantenimiento de los modelos generados durante el desarrollo del mismo.

¹ Blanchard, B. S., W. J. Fabrycky, y D. Verma (Eds.), *Application Of The System Engineering Process To Define Requirements For Computer-Based Design Tools*

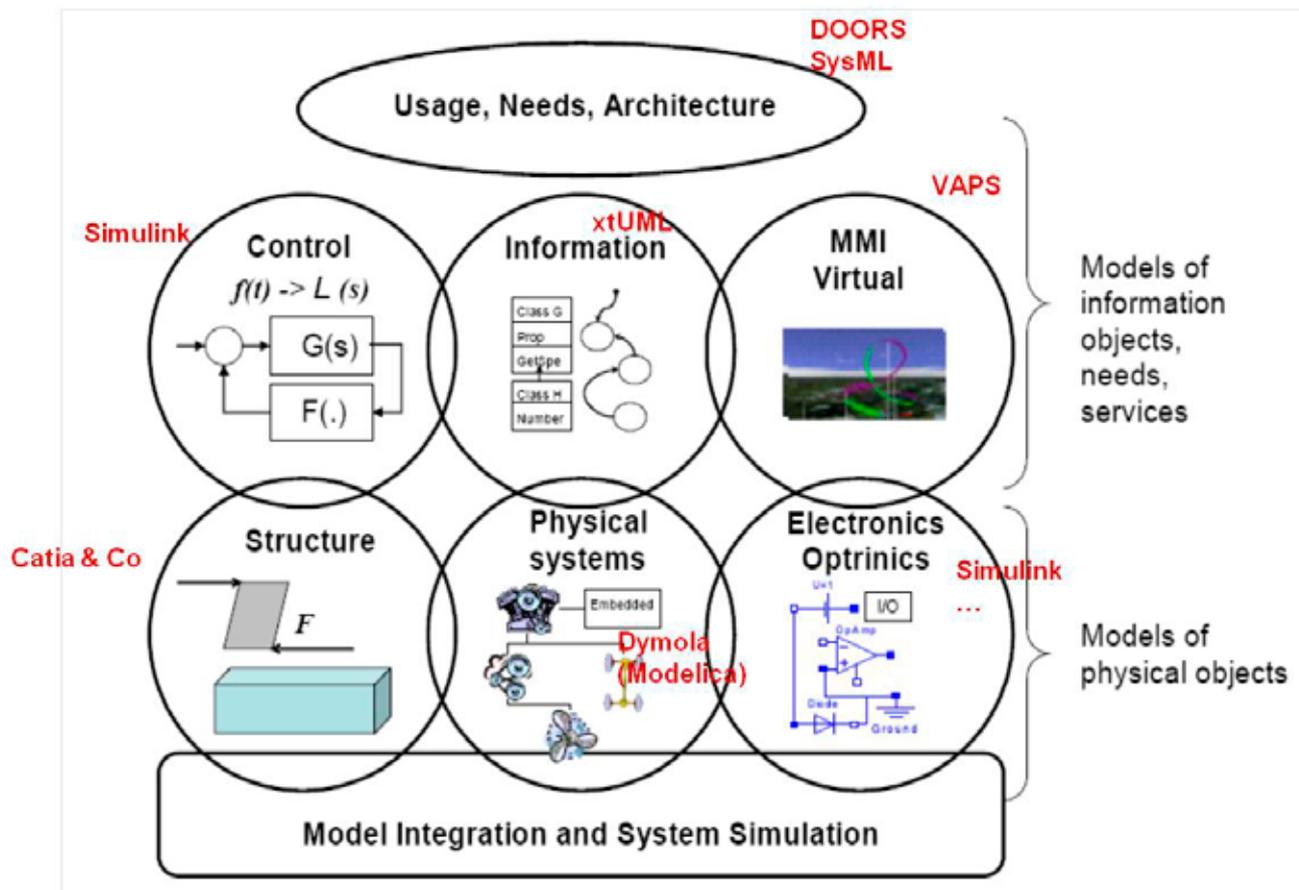


Fig. 2. Ejemplo de utilización de herramientas (en rojo) bajo la metodología MBSE. (Fuente: Presentación MBSE INCOSE).

Aplicación en sistemas de radiofrecuencia multifunción y escalables (Sistemas SMRF).

Debido a que los métodos MBSE son especialmente atractivos para aquellos proyectos complejos, desarrollados en entornos cooperativos y multinacionales, el programa SMRF (*Scalable Multifunction RF systems: Sistemas Multifunción Escalables de RF*) considera su implementación como una herramienta clave para el desarrollo de proyectos.

El programa SMRF es un acuerdo marco establecido dentro del Cap-Tech IAP02 (correspondiente a sensores de RF) de la EDA, cuyo objetivo final es facilitar el desarrollo de sistemas multifunción escalables de radiofrecuencia (sistemas SMRF), mediante la definición de una arquitectura abierta y escalable, basada en la definición de módulos e interfaces, utilizando estándares consensuados, publicados, mantenidos y aceptados por una amplia comunidad de organizaciones industriales. Un sistema SMRF podría ser, por ejemplo, el

constituido por los distintos elementos de RF embarcados en un UAS (*Unmanned Aerial System*), compartiendo alguno de sus elementos, tales como apertura, generador de onda, etc.

Dado que la definición de una arquitectura y de los bloques constituyentes (*Building Blocks: BBs*) de los sistemas SMRF es una tarea de gran complejidad, llevada a cabo en un entorno multinacional, con un gran número de empresas, en la que se espera que haya un intenso intercambio y reutilización de los componentes entre los países participantes y a lo largo de distintos proyectos, se considera que puede verse ampliamente beneficiada por la aplicación de la metodología MBSE.

Con este fin, se ha llevado a cabo el proyecto AMBASSADOR (*Advanced Model-Based Approach to SMRF Specification, Analysis, Development and Obsolescence Reduction*), cuyo objetivo principal es realizar un primer análisis de la aplicabilidad de la metodología MBSE al desarrollo de

sistemas SMRF, definiendo el alcance esperado e identificando soluciones específicas para su aplicación.

Desarrollo de MBSE en el proyecto AMBASSADOR

Para poder analizar la aplicabilidad y los beneficios esperados de la aplicación de la metodología MBSE al desarrollo de sistemas SMRF, se desarrollaron las siguientes actividades principales:

- Investigación de la aplicación y uso de MBSE en otras industrias y dominios.
- Definición del alcance de aplicación de MBSE a sistemas SMRF.
- Análisis del beneficio de la aplicación de MBSE a sistemas SMRF.

Investigación de la aplicación y uso de MBSE en otras industrias y dominios

Para apoyar la evaluación de la aplicabilidad de MBSE en sistemas SMRF, y con el objetivo de conocer en más profundidad el grado de penetración



Fig. 3. Ciclo de vida según INCOSE. (Fuente: Presentación MBSE INCOSE).

e implementación de la metodología MBSE, se contactó con empresas de diferentes países y sectores de la industria (defensa, telecomunicaciones, aeroespacial, semiconductores, automoción, etc.), involucradas en el desarrollo de sistemas complejos.

De los datos recopilados se concluyó que MBSE tiene aplicación en distintas disciplinas, pero es en el modelado de sistemas y control de procesos donde más extendido está su uso y, asimismo, que el nivel de implantación en las distintas empresas varía desde su aplicación en pequeños proyectos piloto hasta un uso consolidado como metodología de desarrollo de sistemas a lo largo de todo su ciclo de vida.

Existen, además, una gran variedad de herramientas, indispensables para soportar el concepto MBSE, predominando las estándar de uso industrial. Sin embargo, se identificó la interacción entre las distintas herramientas utilizadas como el punto más débil de la infraestructura actual existente para el apoyo de la metodología MBSE.

Una práctica comúnmente extendida en la implementación de MBSE, es el uso de un “marco de arquitectura estándar” (*Architecture Framework*, en inglés). Los marcos de arquitectura proporcionan una guía para la representación de la arquitectura de un sistema, definiendo cómo se debe realizar la descripción de un mismo sistema desde diferentes puntos de vista (por ejemplo, estratégico, operacional, sistemas, interfaces, etc.). Hay que tener en cuenta que las especificaciones de sistemas complejos son tan extensas que ningún individuo puede comprender plenamente todos los aspectos de dichas especificaciones. Representar el sistema desde diferentes puntos de vista ayuda a recopilar la vasta información de requisitos y a obtener un mejor entendimiento del sistema por todas las partes implicadas en la definición del mismo. MODAF y DoDAF son los

estándares de marcos de arquitectura más utilizados entre las empresas consultadas.

De la investigación realizada se concluye que se espera un mayor uso y alcance de MBSE en el futuro. No obstante, hay que destacar que la implantación de la metodología MBSE comprende tanto un cambio cultural como de organización con gran necesidad de formación. Se destaca el esfuerzo extra que conlleva MBSE, una vez implantado, en las primeras fases del proyecto en comparación a una metodología tradicional. Sin embargo, todos estos esfuerzos iniciales quedan claramente compensados en etapas posteriores revirtiendo en una mejora de calidad y reducción de tiempos y costes del ciclo de vida en los sistemas desarrollados mediante esta metodología. Otra gran ventaja destacada por las compañías es la notable mejora de comunicación entre las distintas partes implicadas, tanto externas como internas a la empresa, lo cual facilita un entendimiento común del proyecto/producto.

Definición del alcance de aplicación de MBSE a sistemas SMRF

El primer paso dentro de esta actividad fue realizar un estudio de diferentes estándares y modelos de ciclo de vida que pueden ser empleados como base para establecer un marco de simulación. Como resultado, se acordó seguir las recomendaciones sugeridas por la guía de ingeniería de sistemas INCOSE² (figura 3).

INCOSE adopta el ciclo de vida según la norma ISO 15288 y recomienda el uso de diferentes procesos y actividades. Asumiendo esto, se procedió a:

- Asignar los procesos INCOSE de utilidad en sistemas SMRF a cada una de las fases del ciclo de vida del producto.
- Asignar actividades a cada uno de estos procesos.

- Evaluar el nivel de modelado requerido (CIM: *Computational Independent Model*, PMI: *Platform Independent Model*, PSM: *Platform Specific Model*³) para cada uno de los procesos/actividades dentro de cada fase del ciclo de vida.
- Determinar las actividades aplicables para la aplicación de MBSE.
- Identificar la relación nivel de modelado/actividad.
- Definir el alcance de la simulación a lo largo del ciclo de vida del sistema.

Además, se acordó complementar el marco de ingeniería de sistemas con el uso de un marco de arquitectura, en este caso MODAF, para facilitar la identificación de requisitos del sistema. Para cubrir estos aspectos de simulación no incluidos en INCOSE se utilizó la norma IEEE 1220.

Se concluyó que la simulación es aplicable a lo largo de todo el ciclo de vida del sistema y que, dada la complejidad de la arquitectura SMRF, un mismo enfoque de ingeniería de sistemas debe utilizarse por todos los interesados, para asegurar que las simulaciones llevadas a cabo en un determinado punto del ciclo de vida son las adecuadas.

Análisis del beneficio de la aplicación de MBSE a sistemas SMRF

Por último, se valoró el beneficio esperado de la aplicación de MBSE en diferentes niveles y fases del ciclo de vida para el desarrollo de sistemas SMRF. Para ello se realizó, basándonos en la experiencia de las empresas participantes, una comparación de la metodología tradicional basada en documentos frente a esta nueva metodología.

El primer paso fue seleccionar un conjunto de actividades características del desarrollo de sistemas complejos.

² INCOSE *Systems Engineering Handbook* v3.2.2.

³ *Architecture and principles of systems engineering*, C. E. Dickerson, Dimitri N. Mavris. CRC Press, 2010.

tecnologías emergentes

Su duración y coste fue estimado para cada una de las dos metodologías con el método PERT. Hecho esto, se realizaron simulaciones de Montecarlo para calcular las funciones de densidad de probabilidad para las variables duración y coste total.

Del resultado de este estudio se concluyó que la aplicación de metodología MBSE frente a metodología tradicional permitiría reducir en un tercio el coste y la duración de desarrollo de un sistema complejo SMRF.

Conclusiones

La ingeniería de sistemas basada en modelos (MBSE) es una metodología novedosa, que sin embargo cuenta ya con cierta penetración entre empresas de distintos sectores.

Dentro del proyecto AMBASSADOR se ha realizado un estudio de la posible aplicación y la forma de implementación de dicha metodología a lo largo del ciclo de vida de los sistemas SMRF, apoyándose en la guía INCOSE y el uso

de marcos de arquitectura (*Architecture Framework*) como MODAF o DODAF.

Se ha concluido que el uso de MBSE introduce nuevas capacidades en el área de ingeniería de sistemas, ayudando a la captura, análisis, compartición y manejo de la información relativa a la especificación del sistema así como una mayor habilidad en el manejo de su complejidad, lo que se traduciría en un menor tiempo/coste de desarrollo y mayor calidad de los sistemas producidos. Se ha estimado que dicho beneficio podría suponer reducciones de alrededor de un tercio el coste y la duración de desarrollo de un sistema complejo SMR .

Para la implementación de MBSE es indispensable el uso de herramientas de modelado y simulación en todas las fases del ciclo de vida y requiere por tanto una inversión inicial de desarrollo de las mismas muy significativa. Además, implica que el esfuerzo a lo largo del ciclo de vida se desplace hacia las fases iniciales del desarrollo de un proyecto,

en comparación con la distribución del esfuerzo en la ingeniería de sistemas tradicional, basada en documentación.

Así pues, su implementación implica un cambio relevante en la metodología de trabajo y una inversión inicial que se espera obtenga resultados a medio plazo.

Se recomienda, por tanto, profundizar en el desarrollo de la metodología, procediendo a una definición más detallada del proceso de aplicación y a la implementación de MBSE que permita realizar una transición gradual, mediante su implementación en proyectos piloto, de ámbito y alcance limitado.

Para ello, dentro del acuerdo marco SMRF, se ha definido un nuevo proyecto con este objetivo, denominado AMBASSADOR 2, actualmente en proceso de lanzamiento. Dentro de este proyecto se pretende realizar el desarrollo de las tres primeras fases del ciclo de vida de un sistema SMRF mediante la aplicación de MBSE. Más información en www.indra.es y www.isdefe.es

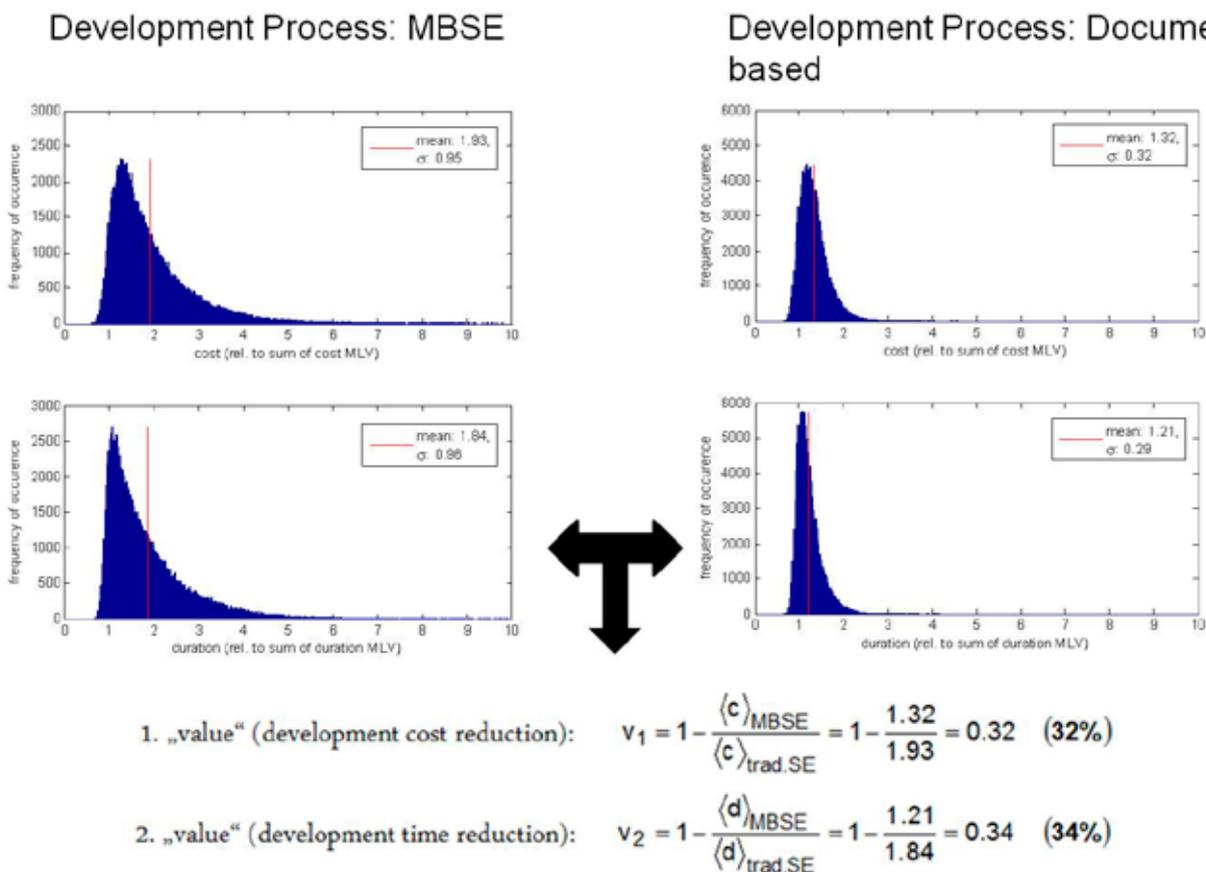


Fig. 4. Resultados de las simulaciones de Montecarlo. Funciones de distribución de probabilidad (coste y duración). (Fuente: Presentación MBSE INCOSE).

Impresión en 3D

Luis Miguel Requejo Morcillo, OT MAT

Palabras clave: impresión 3D, fabricación aditiva.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 0.2., MT 3.1.1, MT 3.2.3.

La impresión en tres dimensiones (3D) es una tecnología que se lleva desarrollando hace años, pero no ha sido hasta el año 2003 cuando se ha producido un incremento notable

en la utilización de impresoras 3D. Fue una idea patentada por Charles Chuck Hull en el año 1986 y la llamó *estereolitografía*.

Una impresora 3D es un dispositivo capaz de generar objetos sólidos tridimensionales mediante la adición de material (figura 1). Esta es la principal diferencia con respecto a los sistemas de producción más tradicionales, los cuales generan un objeto a partir de la eliminación del exceso de material.

¿Cómo funcionan?

El funcionamiento de una impresora 3D es bastante sencillo a primera vista. Se parte de modelos tridimensionales de lo que se quiere imprimir, que son representaciones digitales elaboradas a partir un software de modelado digital. Una vez modelado, el objeto se divide en secciones digitales que la impresora reproduce depositando material (en estado fundido) en un soporte, capa por capa, cada una con un grosor prácticamente invisible al ojo humano (figura 2). Este proceso es generalmente largo, ya que dependiendo del tamaño y complejidad del modelo puede durar más o menos horas. Últimamente se ha conseguido aumentar la velocidad de producción a la vez que se ha mejorado la calidad de los productos.

Actualmente se emplean varios tipos de materiales para 'imprimir' (plásticos, metales, cerámicos, etc.). Dependiendo del tipo de material a emplear, el coste de la impresora puede variar bastante. Las impresoras de bajo coste (alrededor de 1.000 o 2.000 €) suelen funcionar con polímeros termoplásticos como el PLA o el ABS. Otras, capaces de trabajar con otros materiales como los metales tienen precios muy elevados y solo se emplean en entornos industriales.

Ventajas

La impresión 3D tiene una serie de implicaciones que para la industria pueden ser ventajosas y muy relevantes:

- Disponibilidad de los productos: cualquier producto podrá estar disponible con mayor rapidez en el punto de aplicación, ya que los procesos logísticos se simplifican mucho. Se podría dar una respuesta más rápida a la demanda e incluso crear opciones de producción fuera de las fábricas (por ejemplo, unidades móviles que se pueden colocar cerca de la fuente de los materiales locales). Además, las piezas podrían ser producidas según necesidad, reduciendo o eliminando el tener que almacenar gran cantidad de *stock*.
- Nuevos diseños: la impresión 3D elimina las restricciones de diseño que existen en los procesos de fabricación tradicionales, como sería el caso de piezas con formas muy



Fig. 1. Ejemplo de impresora 3D (existen diversos tamaños, según los objetos que se quieran imprimir). (Fuente: www.computerworldmexico.mx).

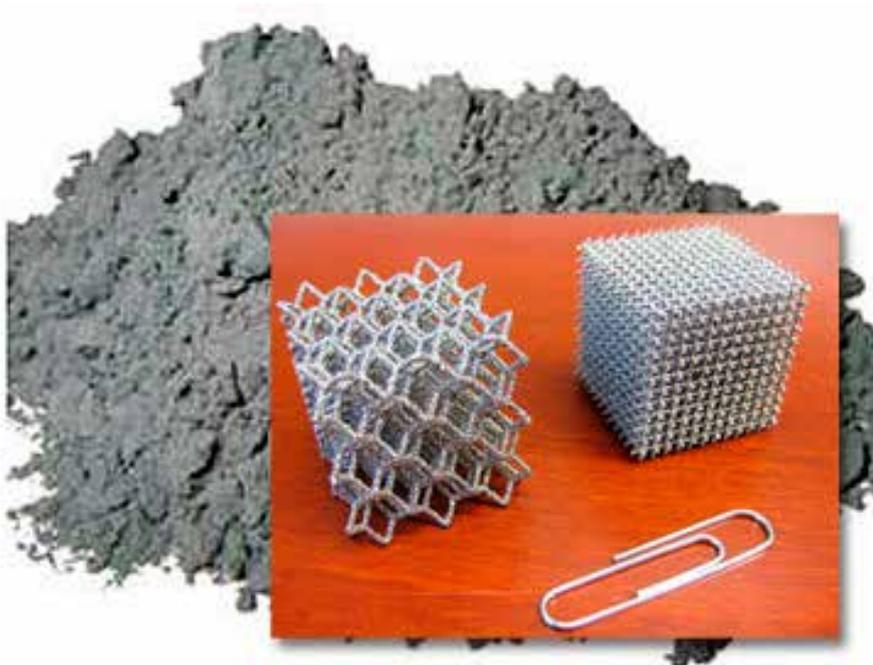


Fig. 2. Partiendo del material en forma de polvo se imprimen las estructuras previamente modeladas. (Fuente: www.nist.gov).

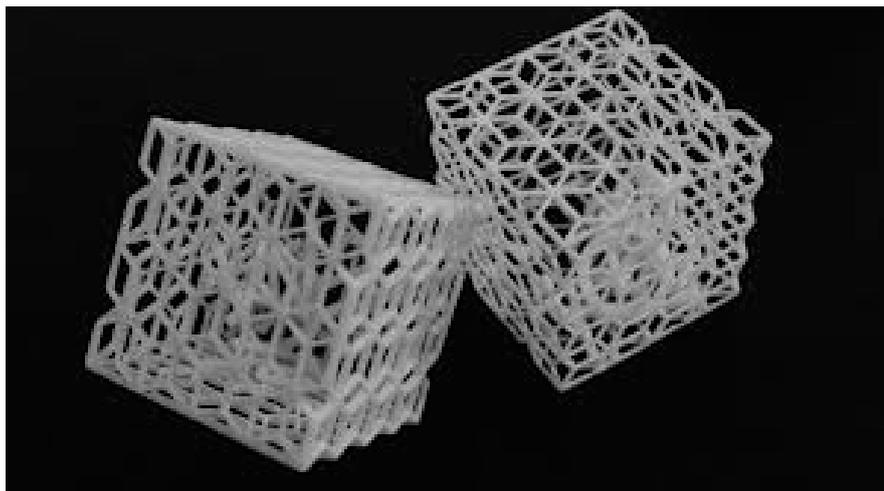


Fig. 3. Ya es posible fabricar cualquier tipo de pieza, por compleja que esta pueda parecer. (Fuente: <http://nistmep.blogs.govdelivery.com/>).

complejas (figura 3). Las impresoras 3D pueden producir cualquier pieza que se pueda diseñar, de modo que se podrían obtener productos que se ajusten a través de espacios estrechos o curvos alrededor de las estructuras. Además, estos artículos se pueden imprimir generando objetos de una sola pieza en lugar de en varias secciones, con lo que se disminuyen las líneas de montaje con el consiguiente ahorro en costes. Esto hace que también sea posible que se pueda acelerar el diseño del producto final.

- Reducción del consumo energético. Esta técnica permite ahorrar el consumo de energía total del proceso de fabricación de una pieza mediante la eliminación de etapas de producción.
- Reducción del consumo de material (y de residuos). Esta técnica permite emplear solo el material necesario para producir una pieza. Esto significa que la cantidad de residuo producido es, por consiguiente, muy reducida.

La impresión 3D en defensa

La gama de piezas hechas por impresión 3D ha crecido en parte por la introducción de nuevos materiales, mejoras en el control del proceso, la velocidad, el coste, la precisión y la fiabilidad. A día de hoy, esta técnica es muy indicada para la producción de series pequeñas. Normalmente, un artículo resulta más económico cuanto más grande sea la serie de producción. Por lo tanto, la impresión 3D es más competitiva para

aplicaciones en las que se necesitan series más cortas de producto y en aquellos objetos donde los ciclos de desarrollo del producto requieran una mayor rapidez (productos

personalizados, de alto valor añadido, etc.), como ocurre en muchos casos en el sector de la defensa.

Esta tecnología ha atraído la atención del sector militar, ya que se podría conseguir una capacidad de fabricación rápida y económica. Sería posible reproducir piezas de repuesto que no se encuentran disponibles en un momento determinado o que ya no se fabrican, para llevar a cabo reparaciones en los sistemas de defensa, sin necesidad de tener que esperar al envío de la mismas. Podría llegar a ser muy útil desde el punto de vista logístico poder instalar estas impresoras en campamentos o incluso a bordo de los buques de guerra (figura 4).

Además, la posibilidad de reducir el almacenamiento de muchas piezas individuales a cambio de solo almacenar el material necesario para la producción de las mismas sería muy interesante.



Fig. 4. La impresión 3D haría posible la fabricación de repuestos de plataformas para llevar a cabo reparaciones de un modo rápido y económico. (Fuente: www.kiwimill.com).

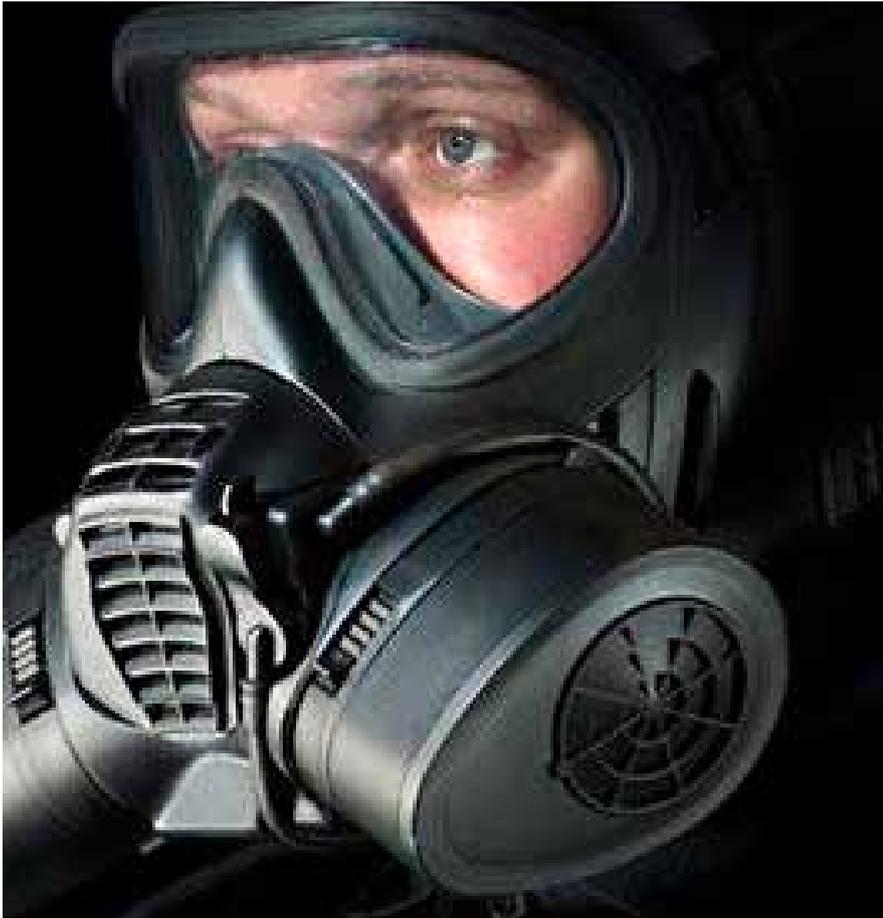


Fig. 5. Máscara NBQ realizada por impresión 3D. (Fuente: www.3ders.org).

El ejército de Estados Unidos está planeando dar a ciertas bases militares la capacidad de generar su propio equipo y repuestos. El REF (*Rapid Equipping Force*) construirá laboratorios móviles en contenedores de plasma y una impresora en 3D para metal y plástico y contando con la presencia de un científico e ingeniero para manejarlos. El coste de estos laboratorios es de alrededor de 2 millones de euros y pueden ser transportados por un helicóptero y colocados donde sea. El primer laboratorio de este tipo fue enviado a Afganistán en julio de 2013 y un segundo será enviado a primeros de 2014. Hasta ahora les ha permitido a los soldados arreglar problemas técnicos rápidamente.

Buscando aplicaciones en defensa a esta tecnología, se está estudiando la posibilidad de fabricar modelos de barcos para realizar estudios hidrodinámicos, moldes únicos para la producción de piezas raras, para la fabricación de detectores de minas, de componentes de dispositivos de defensa NBQ (la empresa británica Design Reality ha conseguido realizar el prototipo de todas las piezas de una máscara NBQ utilizando una



Fig. 6. Diseño de UAV para fabricar por impresión 3D. (Fuente: www.inkpal.com).



Fig. 7. El impacto de la impresión 3D en el transporte y la medicina puede ser muy importante. (Fuente: www.guiaciclismo.com, www.stratasy.com/es, www.autobild.es, www.lanacion.com.ar).

impresora 3D, lo cual es bastante complejo por la variedad de materiales que componen cada una de sus piezas) (figura 5).

Médicos militares han propuesto utilizar esta técnica para imprimir componentes protésicos para los soldados heridos, de modo que, con un previo escaneo de los cuerpos de los militares antes de mandarlos al campo de combate, se pueda poder fabricar rápidamente una prótesis para la persona herida.

Solo a modo de ejemplos se puede decir que Boeing ha incrementado el número de piezas que imprimen (aproximadamente 300), poniendo en el mercado más de 20.000 piezas a través de diez tipos de aviones militares y comerciales. Actualmente, Boeing espera utilizar este tipo de impresión para producir en su totalidad un vehículo aéreo no tripulado (figura 6). Una de las empresas líderes en este ámbito, AVIC Laser, ha fabricado piezas para la creación de siete tipos de

aviones distintos, entre ellos el Y-20 FIMA, J-15, J-20, J-31, C919 y caza furtivo. Estas piezas han sido impresas en gran parte con titanio y están situadas en las partes sometidas a grandes cargas mecánicas, así como en el tren de aterrizaje delantero.

Campos de aplicación (civil)

Sectores como el aeroespacial, el de la automoción y el de la electrónica son posiblemente las industrias más prometedoras con respecto a la aplicación de la impresión 3D. La industria aeroespacial requiere piezas ligeras, resistentes y geométricamente complejas. Para la del automóvil, esta tecnología está siendo muy utilizada el desarrollo rápido de prototipos y demostradores de piezas pequeñas para su evaluación. Para la de la electrónica, la impresión 3D resulta muy adecuada en la integración de funciones en estructuras de muy pequeño tamaño.

Dentro del sector sanitario, la impresión 3D está empezando a tomar

especial relevancia, ya que permite la obtención de productos totalmente individualizados (implantes y prótesis), que tienen altos requisitos en cuanto a su funcionalidad, resistencia y biocompatibilidad.

Desarrollo de la impresión 3D

En la actualidad, el desarrollo de esta tecnología gira en torno a las siguientes líneas de investigación:

- Fabricación de nuevos materiales híbridos con propiedades multifuncionales.
- Mejoras en los acabados superficiales, permitiendo una mejora en lo que se refiere a la resistencia a la corrosión.
- Metodologías avanzadas para el prototipo y la fabricación más rápidos.
- Métodos de fabricación de bajo consumo.
- El desarrollo de procesos de impresión 3D que posibiliten la integración en diferentes procesos y software.
- Incorporación de procesos de metrología y procesos de control de medición.

Con una impresora 3D se puede generar cualquier objeto que podamos imaginar (y diseñar), empleando solo la cantidad estrictamente necesaria de material. Para ello es necesaria la mejora de ciertos aspectos tecnológicos, como se ha citado anteriormente. A día de hoy es posible disponer de una impresora 3D a nivel de usuario para la fabricación de objetos pequeños, aunque se espera que el coste de estos dispositivos se reduzca en los próximos años. A nivel industrial también se espera una reducción del coste de las impresoras 3D, aunque los mayores avances se producirán en la reducción de tiempos y en la mejora de la calidad y funcionalidad de los productos impresos.

En Profundidad



Fig. 1. AIM-9L/M con capacidad all aspect engagement con un detector de InSb. Ejemplo de la RAAF. (Fuente: 2009 Dr Carlo Kopp).

Guiado IR en misiles SRAAM

José Manuel Muñoz Fuentes,
Dpto. de Aeronaves y Armamento,
Subdirección Gral. de Experimentación
y Certificación, INTA

Palabras clave: misil, infrarrojo,
SRAAM, FPA, combate aéreo.

Metas tecnológicas relacionadas:
MT 1.2.1; MT 2.1.6.

Introducción

Los misiles aire-aire han constituido desde sus inicios la espina dorsal de toda fuerza aérea. La superioridad tecnológica de los mismos frente al adversario, intrínsecamente relacionada con el dominio del campo electromagnético, condiciona las capacidades de todo sistema de armas. Históricamente, los primeros misiles aire-aire se pueden enmarcar en lo que hoy se denomina de corto alcance o SRAAM (*Short Range Air-to-Air Missile*), cuyos primeros desarrollos comenzaron en la década de los años cincuenta del pasado siglo. En líneas generales, la tendencia en el combate aéreo es evitar en lo posible el enfrentamiento cuerpo a cuerpo, tratando de aumentar la distancia a la que pueden adquirirse los blancos y el alcance de los misiles, dotando de esta manera de una ventaja competitiva a

una fuerza aérea en la medida en que sea capaz de conseguirlo y disminuyendo a su vez el número de pérdidas humanas. En cuanto a la evolución de los misiles aire-aire, esta tendencia impulsa la aparición de los conceptos MRAAM (*Medium Range Air-to-Air Missile*) y BVRAAM (*Beyond Visual Range Air-to-Air Missile*). El máximo exponente de esta tendencia estaría representado por los UAV armados o los desarrollos de UCAV (*Unmanned Combat Air Vehicle*).

A pesar de esta tendencia, los misiles SRAAM no han dejado de evolucionar y sus capacidades se han visto notablemente incrementadas. Hoy en día, el combate cuerpo a cuerpo es un ámbito fundamental de estudio y entrenamiento de las FAS. Baste citar el ejercicio Dardo 2013, llevado a cabo en el golfo de Cádiz, durante los días 11 a 15 de noviembre en el que se lanzaron más de cuarenta misiles SRAAM [Sidewinder (AIM-9L/I y JULI) e Iris-T] desde los aviones Eurofighter Typhoon y F18¹ (figura 1).

SRAAM

Como ejemplo de la evolución de los misiles SRAAM se detallará el caso de los misiles Sidewinder. Los orígenes de estos misiles se remontan

a finales de la década de 1940 en el US Naval Weapon Center de China-lake, California. Toma su nombre de una serpiente de cascabel que habita en el desierto de Mojave y busca sus presas por las emisiones de calor de las mismas. La primera generación de misiles Sidewinder, AIM-9B, dio lugar a tres desarrollos subsecuentes: una variante superficie-aire denominada MIM-72 Chaparral, destinada a la Armada; otras dos variantes aire-aire AIM-9D y AIM-9C, esta última con guiado radar semiactivo, que fueron empleadas por la Marina y la versión aire-aire AIM-9E, destinada a la Fuerza Aérea de los EE. UU. De la tercera generación de misiles Sidewinder se destaca el desarrollo conjunto para la Fuerza Aérea y la Marina de los EE. UU. de la variante AIM-9L (1970) y su puesta en producción en 1976, desarrollo impulsado por la guerra de Vietnam. Salvo la variante AIM-9C, el resto de los casos incorporan guiado por infrarrojos (IR). Se sale del objetivo del presente artículo continuar con el detalle de la evolución del Sidewinder hasta sus versiones más modernas, AIM-9X, sin embargo, sí se quiere destacar la ventaja que ofrece la variante AIM-9L frente a sus antecesores.

El AIM-9L es un misil con guiado IR, motor cohete de propulsante sólido, controlado mediante cuatro aletas

¹ Fuente: <http://www.ejercitodelaire.mde.es/>

canard, con cuatro superficies sustentadoras en delta situadas en la cola y dotadas de *rollerones*². Tiene un alcance alrededor de 8 km y una cabeza de guerra de fragmentación de 9,5 kg con activación láser.

Las primeras versiones de misiles con guiado IR requerían que el blanco se estuviera alejando del avión lanzador para que pudiera ser adquirido por la cabeza de guiado. Es decir, el avión lanzador debía adquirir una posición de ventaja para lograr esta geometría. Esto

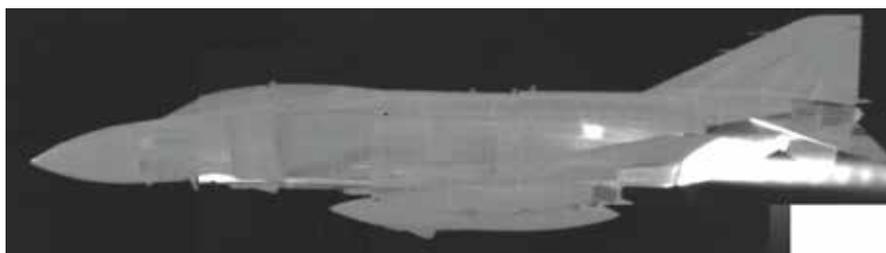


Fig. 2. Imagen espectral de un F-4 Phantom. (Fuente: White, J. *Aircraft Infrared Principles, Signatures, Threats and Countermeasures*. NAVAIR).

se conoce como *tail aspect engagement*; se necesita enfrentar el detector a las altas temperaturas de los gases de la tobera que facilitan el bloqueo de cualquier cabeza de guiado IR. La versión AIM-9L ofrece la capacidad de bloquear sobre un blanco que presente cualquiera de sus caras a la cabeza de guiado, es decir, se dispone de capacidad *all-aspect engagement*. En la guerra de las Malvinas se pudo comprobar la importancia de disponer de esta capacidad en el misil, siendo los AIM-9L de la RAF responsables del derribo de la mayoría de los aviones argentinos y resultando muy superiores a los Shafrir II Mk.4 de la Fuerza Aérea Argentina, que no disponían de dicha capacidad. Posteriormente, basándose en la experiencia en servicio adquirida en la guerra del Golfo (1991), se desarrolló la versión AIM-9M, que incluye, además, mejoras específicas para evitar ser seducido por bengalas o señuelos térmicos. En

² Una de las diferencias más interesantes del SideWinder con otros misiles de la época es el empleo de *rollerones* para conseguir estabilización en balance. Generalmente, en la mayoría de misiles SRAAM no se precisa un control del ángulo de balance, sino mantener la velocidad de balance por debajo de un cierto límite. Los *rollerones* están constituidos por una rueda dentada que gira por acción de la corriente, consiguiendo por efecto giroscópico, pares aerodinámicos de balance que limitan la velocidad angular.

la época de la caída del muro de Berlín y el final de la Guerra Fría, las versiones AIM-9L/M del SideWinder eran los misiles estándar con los que contaban las fuerzas de la OTAN.

A partir de la década de 1990, el uso del radar como sistema de guiado y los relevantes avances en términos de autopiloto, trasladaron el combate aéreo fuera del alcance visual o WBR (*Within Visual Range*) y el AMRAAM (o el AIM120) se consolidó como el misil MRAAM de las fuerzas aliadas. Sin

embargo, los misiles IR para combate aéreo cercano han sido y siguen siendo un elemento táctico fundamental para cualquier fuerza aérea. Han venido usándose desde hace más de 60 años y han resultado clave para el desenlace de numerosos conflictos armados. El guiado infrarrojo se emplea masivamente en las baterías de misiles SAM y en misiles portados por un operador en tierra o MANPADS (*Man Portable Air Defence System*). Asimismo, son una defensa antiaérea común en helicópteros de combate y en UAV armados. Su importancia hoy en día sigue siendo crucial.

Cabe destacar que, aunque en Occidente parece clara la división entre misiles con guiado IR para el combate dentro del alcance visual (WVR) y guiado radar para el combate fuera del alcance visual (BVR: *Beyond Visual Range*), la filosofía rusa desconfía de la efectividad del guiado radar en el BVR. Ante la posibilidad de que pueda ser sencillo para un caza detectar que está siendo iluminado por el radar de un misil y potencialmente perturbarlo, presenta otro tipo de desarrollos que emplean guiado IR también en el BVR³ y la operación conjunta de ambos tipos de misiles.

³ Dr. Kopp. Carlo. *The Russian philosophy of the BVR Air Combat*. Defence Today. Australian Aviation. Australian Aviation. 2008.

Guiado por infrarrojo

Todos los cuerpos emiten radiación infrarroja. Al igual que la luz visible, puede ser detectada gracias a diversas tecnologías o ser absorbida por nubes, vapor de agua o polvo. Una de las diferencias principales entre la luz visible y la radiación infrarroja, es que esta es absorbida por la atmósfera de forma mucho más severa, presentando pérdidas relevantes por absorción atmosférica. El espectro infrarrojo se define como la región del espectro electromagnético con longitudes de onda comprendidas entre 0,7 μm y 1 mm. Este a su vez se divide en diferentes regiones, si bien no existe unanimidad en los valores elegidos para separar dichas fronteras. En el presente artículo se considera la división del mismo establecida por la SPIE (*Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*)⁴.

Por otro lado, la potencia térmica radiada por un cuerpo u objeto y la distribución de la misma en las regiones del infrarrojo dependen del material y de la temperatura del mismo. La naturaleza de los blancos aéreos condiciona por lo tanto las bandas espectrales en las que los misiles con guiado por infrarrojo están diseñados para realizar la detección. En este sentido puede hablarse de firma IR de un blanco o intensidad de contraste, pues es el contraste con respecto al entorno lo que permite la detección del mismo. Es relevante presentar las contribuciones principales a la firma IR de un blanco para entender la evolución y tendencia de las cabezas de guiado:

- Las partes calientes del motor, es decir, la tobera, la cámara de combustión y la turbina donde se realiza la expansión.
- Los gases de salida del motor, con grandes proporciones de vapor de agua y CO_2 .
- Las superficies externas del blanco

⁴ Vandergriff, L. J. *Fundamentals of Photonics*. SPIE. 2003: Far Infrared (FIR, 15 μm - 1cm); Long wavelength-infrared (LWIR, 8-15 μm); Mid wavelength-infrared (MWIR, 3-8 μm); Short wavelength-infrared (SWIR, 1.4-3 μm); Near-infrared (NIR, 0.75-1.4 μm). Por otro lado, la CIE (Commission Internationale de l'éclairage) divide el espectro del infrarrojo en las tres siguientes regiones: IR-A: 0.78-1.4 μm , IR-B: 1.4-3 μm , IR-C: 3-10.6 μm .

(alas, fuselaje, cabina, etc.), que además de presentar una temperatura distinta a su entorno, reflejan parte de la radiación infrarroja proveniente del sol y de la tierra que incide sobre ellas.

La distribución espectral de las anteriores contribuciones hacen que los detectores empleados en las cabezas de guiado se diseñen para las regiones del infrarrojo de onda corta y media (SWIR y MWIR; 1,4-3 μm y 3-8 μm respectivamente). Los primeros

misiles se diseñaban para anchos de banda comprendidos entre 2 y 3 μm , que es donde se encuentra parcialmente la distribución espectral de las partes calientes del motor, principalmente la tobera (aproximadamente entre 2 y 5 μm), de ahí el término *tail*



Fig. 3. Arriba: sección de guiado del Iris-T. Buscador de IIR de 128 x 128 elementos con $\pm 90^\circ$ de FOR (Field of Regard) en los ejes de cabeceo y balance. Abajo: Iris-T en la estación subalar externa del EF2000. Se destacan las bandas amarilla y marrón que indican, respectivamente, la presencia de explosivos y motores cohetes. (Fuentes: <http://www.defensa.gob.es> [texto] y <http://www.diehl-bgt-defence.de> [imagen]).

aspect engagement. Sin embargo, los gases de salida del motor y las superficies externas del blanco, presentan su distribución en una banda más estrecha, entre 4 y 5 μm . Además de la distribución espectral de la radiación, deben considerarse las líneas de absorción de las emisiones de CO_2 y vapor de agua, componentes mayoritarios resultado de la combustión de los motores de reacción que también tienen lugar entre 4 y 5 μm . Esto hace que los elementos detectores tengan que operar también en esta banda para lograr la capacidad *all aspect engagement* y así tener en cuenta todas las contribuciones⁵. La operación en la banda MWIR no fue posible hasta la aparición del antimonio de indio (InSb), empleado en los clásicos Sidewinder AIM9L y 9M.

La región de onda larga (LWIR, 8-15 μm) es en la que operan los detectores multiespectrales de última generación, basados en FPA (*Focal Plane Array*) o matrices 2D. No escanean un determinado campo de visión o FOV (*Field of View*) sino que obtienen una imagen espectral del mismo. En cuanto a las otras bandas del espectro infrarrojo, la región correspondiente al infrarrojo cercano (NIR, 0,75-1,4 μm) no es de gran interés en el diseño de las cabezas de guiado IR aunque sí tiene otras aplicaciones en defensa, ya que es la banda en la que son sensibles los intensificadores de luz y los dispositivos de visión nocturna (NVG). Finalmente, el infrarrojo lejano (FIR, 15 μm - 1cm) tampoco resulta de interés para el guiado IR.

La detección de la radiación infrarroja es tanto más eficiente cuanto más fríos se encuentren los elementos detectores, pues la diferencia térmica con los emisores es mayor. En este sentido, es habitual que se requiera conseguir enfriamiento criogénico de forma ultrarrápida, en unos pocos segundos, de la cabeza de guiado cuando esta va a ser empleada. La solución más usada se basa en el efecto de Joule-Thomson por el cual la expansión de un gas a alta presión produce un gran enfriamiento y su licuación. Para ello, es habitual disponer de botellas de gas de alta presión (p. ej., argón) alojadas en el lanzador

⁵ White, J.: *Aircraft Infrared Principles, Signatures, Threats and Countermeasures*. Naval Air Warfare Center Weapons Division. NAVAIR, US MoD. 2012.

del misil, para mantener la cabeza buscadora en niveles criogénicos (es decir del orden de la temperatura de ebullición del nitrógeno, 77,36 K o 195,79 °C) durante el tiempo suficiente para que tenga lugar la operación completa del misil. Las cabezas buscadoras más modernas emplean tecnologías a través de las cuales puede obtenerse una imagen IR sin necesidad de enfriamiento criogénico.

El propio concepto físico de adquisición a través de la radiación infrarroja puede presentar problemas cuando existen varios focos de radiación infrarroja, incluso más fuertes que la radiación del propio blanco. Esto puede hacer que el misil adquiera un blanco erróneo, como puede ser el sol, el reflejo del sol sobre el mar o cualquier otro punto que emita una radiación infrarroja potente, por ejemplo las aeronaves, buques o vehículos de las fuerzas amigas. Puede darse el caso de que un misil adquiera como blanco otro misil lanzado previamente o sea saturado por él, pues la firma IR puede ser mayor para el penacho del primer misil que la del propio blanco. Este hecho debe ser considerado en el diseño del propio misil, para que varíe su trayectoria con respecto a la nominal cuando el misil es informado de que está siendo lanzado secuencialmente o en modo *ripple*. Estos factores deben ser tenidos en cuenta desde el punto de vista de la integración en la aeronave y resultan especialmente delicados en lanzamientos en los cuales el misil abandona la plataforma sin haber adquirido previamente un blanco.

Una vez la cabeza buscadora ha adquirido el blanco, lo que puede suceder antes o después del lanzamiento, generalmente se mide la diferencia angular entre el eje del misil y la dirección del blanco, para comandar el vuelo del misil mediante una determinada ley de guiado⁶. Entre las desventajas que ofrece el guiado de misiles por infrarrojo se pueden citar las siguientes: influencia de la meteorología, especialmente niebla o nubes;

⁶ Puede encontrarse una mayor información al respecto en: Cucharero, F., *Guiado y control de misiles*. Ministerio de Defensa de España. 1995, Sanz Aranguez P., *Missiles II*. Tomo II. (Aptes quinto curso). ETSIA-UPM. 2000, Siouris G. M., *Missiles Guidance and Control Systems*. Springer. 2004.

es susceptible de verse afectado por fuentes de radiación no deseada (p. ej., sol, reflejo del sol en el mar, etc.); suele presentar complejidades añadidas por necesidad de enfriamiento. Por otro lado, presenta importantes ventajas que hacen que su uso en SRAAM sea masivo: a diferencia del guiado radar semiactivo no requiere que la plataforma lanzadora mantenga iluminado al blanco, y puede ser operado como un arma *fire & forget*; es un medio de guiado pasivo, lo que hace que sea más difícil de detectar por el blanco; y permite obtener un largo alcance de adquisición, tanto de forma diurna como nocturna.

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LAS CABEZAS DE GUIADO

De forma no categórica, puede distinguirse entre las siguientes generaciones de cabezas buscadoras por infrarrojo:

- Primera generación (1960): se emplea una célula detectora única que recibe la radiación infrarroja a través de una retícula situada delante del elemento detector, que gira a altas revoluciones. El giro de la retícula produce una señal modulada en frecuencia que permite determinar la posición del blanco. Este tipo de diseño se conoce como *spinscan*. Generalmente, se alimentan unas bobinas magnéticas con una tensión proporcional al error entre la línea de mira⁷ (LOS: *Line of Sight*) y la dirección del eje de giro. Las bobinas producen un par magnético sobre el conjunto. Este responde, por efecto giroscópico, con un par que tiende a anular el error, realizando así el seguimiento mediante una ley de guiado proporcional. Mediante esta tecnología se pueden detectar y seguir blancos de manera puntual en la forma *tail aspect engagement*, puesto que este sistema es insensible desde un punto de vista axial. Es el sistema que incorporaban las primeras versiones del SideWinder (AIM9B).
- Segunda generación (1970): se emplea una retícula estacionaria y un sistema óptico giratorio formado por dos espejos. Es una mejora del anterior, en el que la radiación

⁷ Se entiende por línea de mira, la línea que une la cabeza del misil con el blanco.

infrarrojo se refleja en el sistema de espejos que gira y pasa a través de la retícula estacionaria produciendo la modulación de la señal. Esta tecnología recibe el nombre de *conscan* o escaneo cónico. Ejemplos de misiles que emplean esta tecnología son el FIM-92A Stinger y el Archer AA-11. Una mejora relevante con respecto a *spinscan* y *conscan*, aunque también basada en el mismo fundamento tecnológico, es la que se obtiene dotando al elemento detector de un movimiento radial hacia fuera y hacia dentro. Es decir, se comienza a implementar un cierto patrón de escaneo, aunque muy básico. Esta tecnología data de los años 80 y se denomina *rossette scan*, pues el movimiento radial del

visible existen otros dispositivos análogos pero de distinta denominación como son los CCD (*Charge Coupled Device*) y los sensores de imagen CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*). Dicho esto, la diferencia entre una agrupación lineal o en cruz con un conjunto 2D, estriba en que en el caso de disponer de un conjunto 2D no es necesario realizar escaneo, pues directamente se obtiene una imagen térmica del blanco. En el caso de agrupaciones lineales o en cruz se habla de *scanning array* mientras que si las agrupaciones son 2D, de *staring array*. La información obtenida mediante dispositivos del tipo *scanning array* tiene que ser *rasterizada*⁸ para dar lugar

obtención de una imagen térmica del blanco da lugar al concepto *Imaging Infrared* o IIR.

Esta tecnología se emplea en las últimas versiones del SideWinder (AIM9X), el británico ASRAAM, el israelí Python V, el ruso R-73 Adder o el europeo Iris-T⁹, misiles de última generación que compiten a nivel mundial.

En paralelo con la anterior evolución en las tecnologías de cabezas de guiado, también existe una evolución hacia el empleo de longitudes de onda mayores. Según se expuso anteriormente, las bandas relevantes desde el punto de vista de la detección infrarroja son SWIR y MWIR, pero a medida que se aumenta la capacidad de

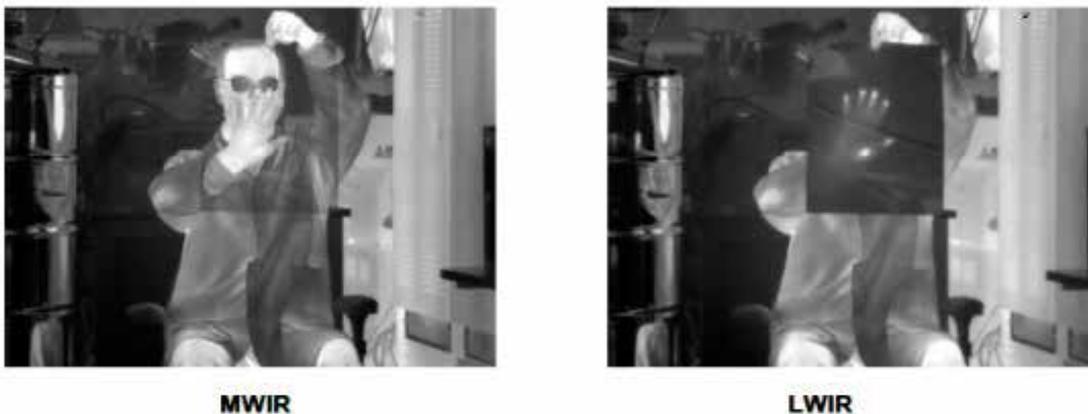


Fig. 4. Ejemplo de dos imágenes en MWIR y LWIR obtenidas con un FPA de 640 x 480. La diferencia significativa es relativa a la hoja de plástico que se sujeta, que es transparente en el espectro visible, perceptible en la banda MWIR y casi opaca en LWIR. (Fuente: Ref. King D.F. et al. 3rd-Generation 1280 x 720 FPA development status at Raytheon Visio Systems).

detector hace que este describa una especie de rosa. El patrón de escaneo aumenta el FOV del *seeker* y hace posible el *all aspect engagement* al permitir resolver diferentes fuentes de radiación en el FOV. Un ejemplo de empleo de esta tecnología, que además suele ir acompañada de técnicas de procesamiento digital, puede encontrarse en el MISTRAL I.

- Tercera y cuarta generación (1990 - actualidad): se emplea un conjunto de células detectoras formando un mosaico, que habitualmente se conoce como *Focal Plane Array* (FPA) y gracias al cual puede obtenerse una imagen térmica completa del blanco, lo que supone un salto cualitativo muy relevante frente a las anteriores. En el espectro

a la obtención de una imagen que pudiera ser mostrado a través de un medio de salida digital. Por el contrario, en dispositivos del tipo *staring array* esto no es necesario y la imagen se obtiene directamente. Debido a la información del blanco que el misil tiene una vez que ha bloqueado sobre él, resulta muy difícil seducir mediante contramedidas a este tipo de misiles. Las agrupaciones lineales de detectores generalmente están compuestas de elementos fotoconductores de PbS, PbSe o HgCdTe; las agrupaciones 2D propias de *staring array* generalmente son de HgCdTe. La

⁸ La rasterización es el proceso por el cual una imagen descrita en un formato gráfico vectorial se convierte en un conjunto de píxeles.

obtener mayor información espacial y resolución se amplía el espectro infrarrojo que puede cubrirse, pues generalmente los blancos aéreos no solo emiten en las regiones SWIR y MWIR. Las nuevas generaciones de misiles con guiado por infrarrojo operan en las tres bandas SWIR, MWIR y LWIR, entre los 1,4 y 15 μm . De esta forma, se han ido desarrollando técnicas de comparación multispectral que tienen por objeto ayudar a discriminar

⁹ Programa participado por España (21,3%), Alemania (40,5%), Italia (14,7%), Grecia (10,4%), Suecia (8,1%) y Noruega (5,0%), que tiene por objeto dotar al EA de un misil de nueva generación que sustituya a los AIM9L, siendo el contratista principal la alemana DBD, pero con participación de empresas españolas como SENNER, EXPAL o ICSA (fuente: <http://www.defensa.gob.es/>).

la radiación infrarroja procedente de un blanco de interés frente a la de otras fuentes. Este concepto queda reflejado en la figura 4.

Por último, merece la pena destacar que la máxima capacidad de un misil SRAAM de última generación solo se consigue gracias a la integración digital del mismo en la plataforma lanzadora. La integración digital implica que se dispone de capacidad para enviar datos del blanco al misil en su punto de carga. Dichos datos pueden provenir de otro sistema del avión, por ejemplo el sistema de adquisición e identificación, el de comunicaciones (para redes del tipo Link16), o el propio casco o HMD (*Helmet Mounted Display*) si dispone de capacidad de designación de blancos. Esta comunicación entre la plataforma y el conjunto lanzador-misil incrementa la capacidad operacional en el combate aéreo, ya que enviar al misil un número de mensajes sobre el blanco, que normalmente incluye sus coordenadas, facilita a la cabeza buscadora el bloqueo sobre el mismo, ya sea antes de abandonar la plataforma o después. Esta capacidad hace posible que, por ejemplo, se pueda lanzar un misil a un blanco que en el momento del lanzamiento está fuera del FoR de la cabeza buscadora (p. ej., un blanco situado detrás del avión).

TENDENCIAS FUTURAS Y CONCLUSIONES

Adquirir rápidamente y mantener un blanco de forma robusta, en un escenario particularmente adverso (WVR), es todo un desafío tecnológico al que se enfrenta, no solo el sensor de adquisición, sino el sistema misil completo. Este escenario puede caracterizarse por muy diversos requisitos: el alcance, las grandes variaciones de radiación recibida (dado que el blanco es altamente maniobrable) y una escena que cambia rápidamente, lo que requiere tiempos mínimos en el procesado de imágenes o *read-out*, el tratamiento de datos y los comandos de control. Además, el misil debe hacer frente a señuelos y contramedidas

como bengalas o dispositivos DIRCM (*Directed InfraRed CounterMeasures*). En opinión del autor, la tendencia futura del guiado y adquisición en el WVR está ligada a la evolución en la tecnología de obtención de imágenes en el infrarrojo (IIR). Debe incrementarse la resolución y el FoV del FPA, lo que puede conseguirse con un mayor número de píxeles. El estado del arte para misiles SRAAM con guiado IR puede caracterizarse por FPA con capacidad bicolor formados por matrices de 128 x 128 elementos. En misiles SAM (*Surface-to-Air-Missiles*) con guiado IIR se incrementa el número de elementos (p. ej., 384 x 288) y todavía se incrementa más en misiles aire-tierra crucero o *standoff* del tipo Taurus o Stormshadow. El incremento de elementos proporciona una mayor resolución de imagen, pero también requiere mayor espacio. Para permitir que las futuras generaciones de FPA para cabezas buscadoras de IR incorporen un mayor número de elementos (p. ej., 512 x 512), estos tendrán que ser más pequeños y con capacidad multispectral intrínseca. El incremento de sensibilidad en los sensores debe ir acompañado de mejoras en la robustez o en la capacidad CCM (*Counter-Countermeasures*) del misil, lo que requiere nuevas técnicas de procesado de imágenes o *read-out* y tratamiento de datos. Es seguro que se mantendrá la batalla CCM y C-CCM (*Counter-CCM*) o IRCM (*Infrared Countermeasures*). Una mejora esperable será reducir o eliminar la necesidad de refrigeración criogénica para los sensores de IR, dadas las complejidades que conlleva y los riesgos asociados.

Elementos fotodetectores más pequeños y sensibles pueden dar lugar a nuevos desarrollos duales RF/IR. Existen varios antecedentes de autoguiado dual RF/IR, entre los que destaca el RIM-116 (*Rolling Airframe Missile*). El RIM-116 es un misil SAM empleado desde buques de guerra contra misiles crucero. Este misil, cuyas primeras versiones datan de

la década de 1980¹⁰, incorporaba en versiones posteriores la capacidad de guiado dual RF pasivo / IR. En el caso del combate aéreo, puede resultar interesante que el *endgame* o fase final de un misil aire-aire mantenga la adquisición del blanco de forma pasiva y emplear autoguiado RF (activo o pasivo) durante las primeras etapas. Sin embargo, los requisitos de maniobrabilidad y tamaño hacen que, a priori, no parezca una solución adecuada en un *dogfight*.

Desde los primeros desarrollos hasta la época actual, la tecnología de las cabezas buscadoras por infrarrojo ha ido evolucionando junto con las actuaciones de los propios aviones de combate, dotando al sistema de armas de una gran capacidad operacional. No solo ha evolucionado la capacidad de los elementos detectores, sino también multitud de aspectos: un mayor campo de adquisición o FOR, agilidad de búsqueda, la robustez ante contramedidas o maniobras evasivas, la autonomía, la capacidad de realizar giros a más de 50 G, etc.

En el presente artículo se han presentado los elementos clave que han permitido a los misiles SRAAM evolucionar de un primitivo *tail aspect engagement*, en el que el misil era ciego a todo lo que no fuera el punto caliente de la tobera del adversario, a poder lanzar, en una situación de combate aéreo, un misil SRAAM con capacidad IIR e integrado digitalmente contra un blanco maniobrable situado en el hemisferio trasero del avión. Más información en www.inta.es

¹⁰ Como curiosidad, debemos indicar que el RIM-116 se concibió como un misil de bajo coste que reutilizaba elementos de misiles ya existentes: el motor cohete del MIM-72 Chaparral, la cabeza de guerra del AIM9 Sidewinder y el sistema de guiado IR del FIM-92 Stinger.

Impresión Bajo Demanda

Borrar

Procedimiento

El procedimiento para solicitar una obra en impresión bajo demanda será el siguiente:

Enviar un correo electrónico a **publicaciones.venta@oc.mde.es** especificando los siguientes datos:

Nombre y apellidos

NIF

Teléfono de contacto

Dirección postal donde desea recibir los ejemplares impresos

Dirección de facturación (si diferente a la dirección de envío)

Título y autor de la obra que desea en impresión bajo demanda

Número de ejemplares que desea

Recibirá en su correo electrónico un presupuesto detallado del pedido solicitado, así como, instrucciones para realizar el pago del mismo.

Si acepta el presupuesto, deberá realizar el abono y enviar por correo electrónico a:

publicaciones.venta@oc.mde.es el justificante de pago.

En breve plazo recibirá en la dirección especificada el pedido, así como la factura definitiva.

Centro de Publicaciones

Solicitud de impresión bajo demanda de Publicaciones

Título:

ISBN (si se conoce):

N.º de ejemplares:

Apellidos y nombre:

N.I.F.:

Teléfono

Dirección

Población:

Código Postal:

Provincia:

E-mail:

*Dirección de envío:
(sólo si es distinta a la anterior)*

Apellidos y nombre:

N.I.F.:

Dirección

Población:

Código Postal:

Provincia:

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

<http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES TECNOLÓGICOS>

<http://publicaciones.defensa.gob.es/inicio/revistas>



SOPT
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE DEFENSA

SECRETARÍA
GENERAL
TÉCNICA

SUBDIRECCIÓN GENERAL
DE PUBLICACIONES
Y PATRIMONIO CULTURAL